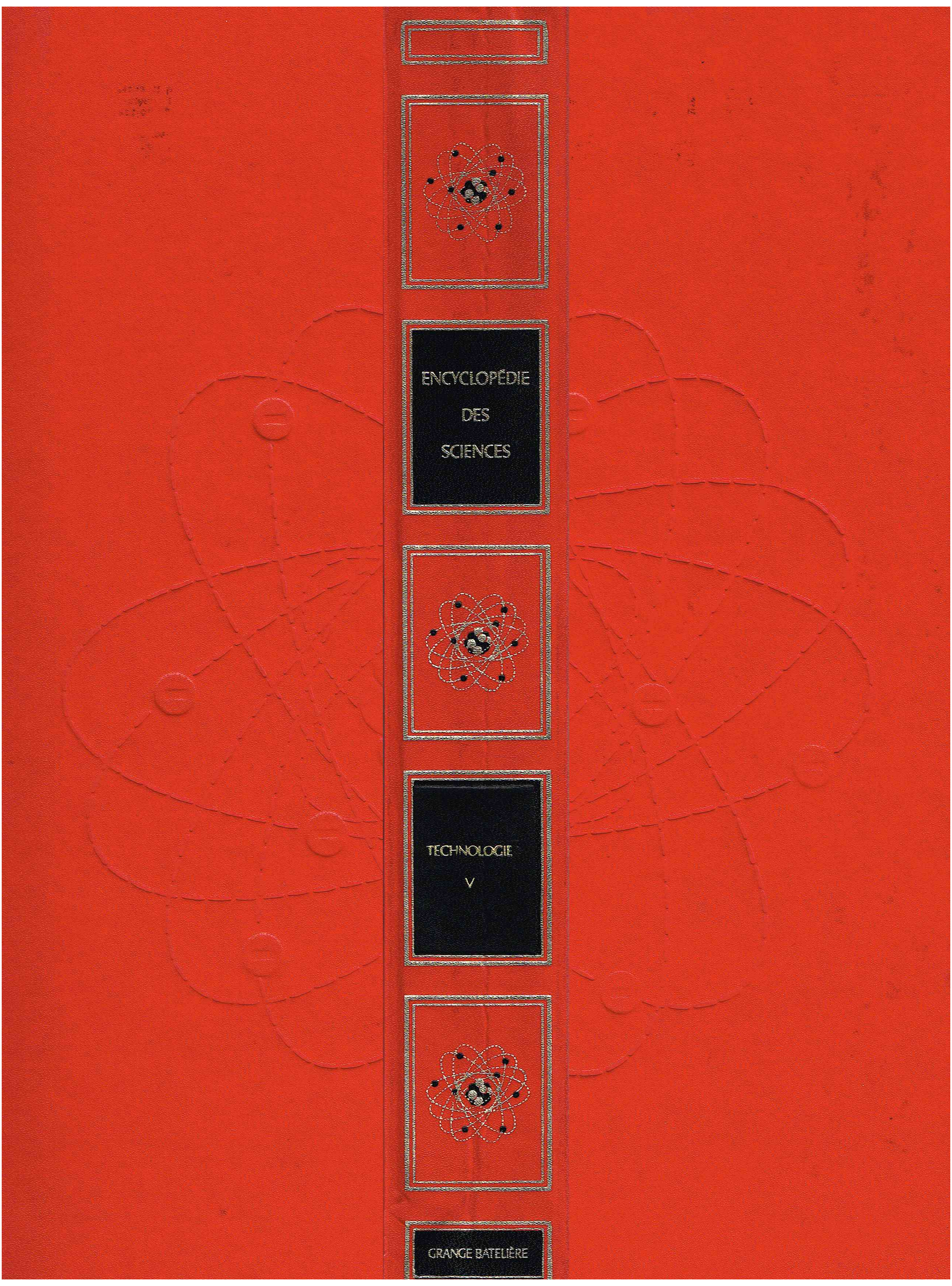

ENCYCLOPÉDIE
DES
SCIENCES
TECHNOLOGIE
V
GRANGE BATELIÈRE

# LEXIQUE DE TECHNOLOGIE (OBJETS ET PRODUITS)

## SUPPLÉMENT AU VOLUME XX DE LA GRANDE ENCYCLOPÉDIE ALPHA DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

ABRÉVIATIONS

| | |
|---|---|
| *adj.* | adjectif |
| *ex.* | exemple |
| *n.* | nom |
| *p. ex.* | par exemple |
| *par ext.* | par extension |
| *syn.* | synonyme |

### A - B

**absorption.** *n.* Transformation d'énergie rayonnante en une autre forme d'énergie, par interaction avec la matière.

**actiniques.** *adj.* Habituellement employé pour désigner des radiations qui provoquent des actions chimiques. Les lampes actiniques sont des lampes à vapeur de mercure basse pression, revêtues intérieurement d'une couche fluorescente qui transforme l'énergie ultraviolette engendrée par la décharge en radiations actiniques dont l'émission est comprise entre 370 nm et 420 nm.

**adjuvant.** *n.* De *adjuvare* (latin) : aider. Un adjuvant est un excipient (voir ce mot) qui facilite la préparation des médicaments. Par exemple, la fabrication des comprimés impose souvent la présence d'adjuvants : *diluants* (amidon, lactose...), *agglutinants* (gommes, sucres...), *lubrifiants* (stéarate de magnésium, lauryl sulfate de sodium...), éventuellement de *délitants* (ou *désintégrants*).

**adoucisseur (d'un lave-vaisselle).** L'adoucissement consiste à substituer du sodium au calcium pour obtenir du carbonate de sodium qui, étant soluble, ne formera pas de dépôts. Cette transformation est effectuée par le passage de l'eau à travers un corps poreux, une résine.

**aérosol.** *n.* Ce terme désigne une dispersion stable de particules solides ou liquides dans un gaz. La brume, un nuage, la poussière sont des aérosols. Par extension, dans le secteur du conditionnement, c'est un emballage de transport dans lequel ce phénomène est réalisé. Ce récipient, parfaitement étanche, est équipé d'une valve, d'un gicleur, et contient un mélange dosé de produit actif et de gaz propulseur liquide ou sous pression.

**aiguille.** *n.* Organe de la mécanique Jacquard, dans le chas de laquelle est passé le crochet.

**allantoïque.** *adj.* Se dit du liquide contenu dans la cavité la plus externe de l'œuf de poule incubé qui renferme l'embryon et toutes ses annexes.

**allumage piézo-électrique.** Le choc sur un cristal, élément de forme cylindrique en quartz dont le diamètre est d'environ 15 mm, engendre un courant électrique qui provoque une étincelle.

**amniotique.** *adj.* Se dit du liquide contenu dans la cavité la plus interne de l'œuf, celle qui est au contact immédiat de l'embryon. La quantité de liquide amniotique est très faible, la cavité amniotique étant une cavité presque virtuelle par suite de l'accolement des feuillets de l'amnios.

**amorçage.** *n.* L'amorçage d'une lampe munie d'un starter est obtenu à l'aide de la tension transitoire provoquée par l'ouverture du starter. Pour les lampes sans starter, une aide à l'amorçage peut être obtenue au moyen d'un trait extérieur conducteur ou par application d'une tension élevée fournie par un ballast entre les extrémités de la lampe.

**amorceur.** *n.* Dispositif électrique qui fournit les conditions nécessaires à l'amorçage d'une décharge.

**anatoxine.** *n.* L'anatoxine est une toxine modifiée sous l'influence du formol par un séjour prolongé à l'étuve. L'anatoxine est une substance antigénique, dépourvue de toxicité, stable et permettant d'immuniser les sujets auxquels on l'injecte.

**anticorps.** *n.* Substance spécifique et défensive de nature protéique, engendrée dans l'organisme par l'introduction d'un antigène avec lequel elle se combine pour en neutraliser l'effet toxique. Les anticorps sont contenus dans la fraction dite gamma du sérum, que l'on peut isoler par électrophorèse ou par précipitation.

**antigène.** *n.* Toute substance étrangère qui, introduite dans l'organisme, engendre la formation d'anticorps. Les antigènes sont le plus généralement de nature protidique. Les protéines de l'alimentation qui, par définition, seraient antigéniques sont, dans les processus de la digestion, décomposées en acides aminés, briques primitives de l'édifice protéique et reconstituées de l'autre côté de la barrière intestinale en protéines spécifiques de l'individu, le mettant ainsi à l'abri des agressions qu'auraient engendré des protéines étrangères.

**anti-histaminique.** *n.* L'histamine est une substance existant dans certains tissus animaux ou résultant de leur décomposition. L'injection d'histamine à un organisme vivant entraîne des phénomènes de choc, des réactions musculaires ou circulatoires qui se retrouvent dans certains états infectieux. On appelle anti-histaminiques les substances qui combattent une action analogue à celle de l'histamine observée par exemple à l'occasion de réactions de type allergique ou à la suite de réactions vaccinales.

**appareillage.** *n.* Opération consistant à nouer les lisses aux arcades du métier Jacquard.

**appertisation.** *n.* Voir *stérilisation.*

**arcade.** *n.* Ficelle de lin reliant le collet de la mécanique Jacquard à la lisse.

**bague.** *n.* C'est la partie haute d'une bouteille ou d'un flacon sur laquelle s'accroche l'élément de fermeture : bouchon ou capsule. Ses tolérances de fabrication sont très étroites.

**ballast.** *n.* Dispositif utilisé pour contrôler ou stabiliser le courant qui traverse les lampes à décharge.

**bâti** ou **carcasse.** *n.* Ensemble de la charpente du métier à tisser.

**brûlage.** *n.* Action qui consiste à éliminer le liant mélangé aux poudres fluorescentes, qui s'est déposé à l'intérieur des tubes au cours de l'opération d'enduction. Pour ce faire, on passe les tubes dans un four à température élevée, qui brûle l'enduit et transforme le liant en poudre et gaz, lesquels s'éliminent facilement.

**brûleur.** *n.* Enceinte en quartz à l'intérieur de laquelle prend naissance le phénomène d'électroluminescence des lampes à décharge.

**brunissage.** *n.* Lissage d'une surface de métal à l'aide d'un outil en agathe ou en acier poli, ayant pour effet de la durcir et de la rendre brillante.

### C

**cabochon.** *n.* (étymologie : en forme de caboche). Forme arrondie et bombée donnée à un élément décoratif, le plus souvent en pierre dure. Cabochon simple : dessus bombé, dessous plat. Cabochon double : convexité sur les deux faces.

**catadioptre.** *n.* Un catadioptre est une pièce de signalisation de véhicule automobile qui permet de le positionner par réfléchissement de la lumière émise quand il se trouve dans un rayon lumineux. Il se présente sous forme d'un assemblage de tétraèdres dont les faces dévient les rayons lumineux jusqu'à les renvoyer vers leur origine.

**catalyse (nettoyage du four par).** Les parois du four sont revêtues de plaques en émail mat et poreux contenant du carbonate de tungstène qui oxyde les éclats de graisse se produisant pendant la cuisson.

**C.E.E.** Commission internationale de réglementation en vue de l'approbation de l'équipement électrique. Elle comprend les comités électrotechniques de 22 pays européens, plus Australie, Canada, Islande, Japon, Afrique du Sud et U.S.A. comme membres observateurs.

**C.E.I.** Commission électrotechnique internationale. Partie de l'ISO relative à l'électrotechnique, comprend les comités électrotechniques de plus de 60 pays.

**cellules diploïdes.** Ce sont les cellules somatiques (du corps) d'un organisme vivant qui renferment un nombre 2N de chromosomes. Les cellules germinales (reproductrices : ovules ou spermatozoïdes) renferment les N chromosomes caractéristiques de l'espèce. En se combinant avec les chromosomes germinaux d'un individu de sexe opposé, ils reconstituent le nombre 2N des cellules somatiques.

**C.E.N.** Comité européen de normalisation. Comprend les organismes nationaux de normalisation de la C.E.E. et des pays de l'E.F.T.A., plus la Grèce et l'Espagne comme membres correspondants.

**CENELEC.** Comité européen de normalisation électrotechnique. C'est la partie du C.E.N. relative à l'électrotechnique. Il comprend les comités électrotechniques des mêmes 14 pays de l'Ouest européen que le C.E.N.

**centrifugation zonale.** Méthode de centrifugation séparative dans laquelle on introduit à l'intérieur d'un cylindre ou d'un cône tournant à très grande vitesse un soluté de concentration et de densité croissantes (saccharose, chlorure de césium). La substance centrifugée s'étage à l'intérieur du bol de centrifugation en fonction de la densité propre de ses constituants. On peut, en extrayant des zones successives du matériel en centrifugation, obtenir une séparation du matériel à centrifuger en recueillant à l'état de pureté toutes les particules ayant la même densité.

**C.I.E.** Commission internationale de l'éclairage. Comprend les comités nationaux d'éclairage de 30 pays.

**ciselé.** *n.* Décor effectué sur l'endroit d'une plaque de métal, en insculptant au marteau les dessins variés de poinçons et de ciselets.

**code européen.** Le code européen est un faisceau de croisement asymétrique utilisé pour l'éclairage des véhicules automobiles. Il répond aux conditions suivantes : par rapport à l'axe vertical du véhicule, la partie gauche comporte une coupure horizontale au-dessous de laquelle l'automobiliste doit voir la route sur une distance de 25 à 50 mètres ; au-dessus, rien. Dans la partie droite, la coupure est relevée de 15° de manière à éclairer le bas-côté de la route sur une distance de 50 à 75 m.

**coefficient d'efficacité.** Il mesure le rapport entre le volume (ou le poids) efficace d'un emballage et le volume (ou le poids) réel de cet emballage. Il doit être aussi voisin que possible de l'unité.

**collet.** *n.* Boucle en corde sans nœud passée dans le talon des crochets, servant à recevoir les cordes auxquelles sont suspendues les lisses (voir ce mot).

**compartiment de conservation (conservateur).** Destiné à maintenir à basse température (* — 6 °C ; ** — 12 °C ; *** — 18 °C), les produits surgelés ou congelés industriellement que l'on peut se procurer dans le commerce, mais ne permet pas d'effectuer la congélation.

**complexe.** *n.* En termes d'emballage, le complexe est un composite comportant plusieurs couches intimement liées, dont au moins un matériau plastique, qui apportent à l'ensemble les propriétés spécifiques de chacune d'entre elles : légèreté ; imperméabilité à l'eau, à certaines vapeurs, etc. A noter qu'un complexe est toujours un matériau souple.

**composite.** *n.* Un emballage composite est constitué de plusieurs matériaux. A noter que si l'utilisation de complexe conduit à un emballage composite, un matériau composite n'est pas toujours un matériau complexe.

**conditionnement.** *n.* Opération de conditionner (voir ce mot) ; par extension, résultat final de l'opération, c'est-à-dire l'emballage et ses annexes.

**conditionner (un produit).** C'est le parer des qualités que le consommateur lui attribue *a priori*, par le biais de son emballage et de son habillage.

**conduction.** *n.* Échanges thermiques entre deux milieux mis en contact et immobiles.

**convection.** *n.* Échanges thermiques entre un corps et un fluide en mouvement. *Convection naturelle :* échanges thermiques entre un corps et un fluide sans mouvement forcé. *Convection forcée :* échanges thermiques entre un corps et un fluide dans un mouvement forcé.

**corps noir.** Le corps noir, ou radiateur intégral, est un corps qui absorbe toutes les radiations incidentes quelles que soient les longueurs d'onde, direction et polarisation. Il n'y a ni transmission ni réflexion.

**couleur (température de).** La température de couleur est une expression utilisée pour décrire la couleur d'une source de lumière en comparant celle-ci à la couleur du corps noir ou radiateur intégral. La température du corps noir exprimée en Kelvins, pour laquelle l'équivalence de couleur est obtenue, est dite température de couleur de la source. L'unité est le kelvin (K).

**couleurs (triangle de).** Le triangle de couleurs permet la spécification mathématique exacte de toute couleur à l'aide de deux coordonnées chromatiques qui sont calculées à partir de la distribution spectrale énergétique de la lampe et de la réponse d'un observateur colorimétrique « standard » de la C.I.E. aux 3 couleurs primaires : rouge, bleu, vert.

## D - E - F

**décharge électrique.** Passage d'un courant électrique à travers des gaz et des vapeurs par l'intermédiaire des porteurs de charge produits et entraînés par le gradient de potentiel appliqué au milieu.

**dégivrage.** *n.* L'humidité provenant des denrées est transformée dans le réfrigérateur ou le congélateur en givre. La suppression de ce givre, ou dégivrage, peut être manuel, semi-automatique ou automatique.

**diffuseur.** *n.* Dispositif modifiant la distribution spatiale d'un flux lumineux ou énergétique.

**écran paralume.** Écran formé d'éléments translucides ou opaques géométriquement disposés de façon à masquer les lampes à la vue directe sous un angle déterminé.

**emballage.** *n.* C'est l'ensemble Enveloppe + Fermeture qui protège le produit contenu, permet son transport et assure sa conservation.

**embuvage.** *n.* Différence de longueur entre les fils de chaîne avant le tissage et le tissu fabriqué.

**enduction.** *n.* Action d'enduire l'intérieur des tubes des lampes fluorescentes d'une mince couche de poudre fluorescente, activée par des ions de terre rare et mélangée à un liant pour faciliter la manipulation et la mise en place.

**ensouple.** *n.* Ensemble des fils ourdis, de même longueur et enroulés sur un rouleau dit d'*ensouple*.

**épithélial.** *adj.* Se dit des cellules provenant d'un épithélium, c'est-à-dire des fines membranes qui recouvrent une muqueuse ou limitent un organe. Ce sont des cellules planes juxtaposées qui recouvrent le corps ou tapissent l'intérieur des organes, cellules généralement de grande taille, à protoplasma clair et qui se prêtent particulièrement à la mise en culture pour la croissance des virus.

**étirage.** *n.* Opération qui consiste à allonger une barre de métal au détriment de sa section, en modifiant ou non la forme de cette section.

**excipient.** *n.* De *excipere* (latin) : recevoir. L'excipient reçoit le principe actif et permet la fabrication des médicaments. Il peut être un *solvant* (ou véhicule) qui transporte le principe actif jusqu'à son lieu d'utilisation, ou un *adjuvant* (voir ce mot).

**fardeau.** *n.* On désigne ainsi l'emballage regroupant généralement sous film rétractable ou étirable un certain nombre d'emballages unitaires. C'est un conditionnement destiné à la distribution.

**fibule.** *n.* Bijou servant à agrafer un vêtement, composé d'une épingle articulée sur un élément décoratif plus ou moins richement orné.

**flash pasteurisation.** C'est le traitement thermique en vrac et en continu d'un produit alimentaire en vue de le stabiliser microbiologiquement pour permettre sa distribution et sa consommation dans les meilleures conditions. Le traitement, qui dure quelques dizaines de secondes, s'effectue entre 65 et 90 °C dans un matériel appelé échangeur thermique.

**flotté.** *n.* Fil levé ou baissé pendant plusieurs coups consécutifs, lors du tissage.

**fluorescence.** *n.* Quand un photon frappe un atome, le photon disparaît et l'énergie est absorbée par l'atome. Si ce dernier retourne à son état d'énergie d'origine par étapes, on dit qu'il y a fluorescence du gaz. Les fréquences émises sont plus faibles que celles des ondes absorbées, c'est une véritable transformation de fréquence.

**flux lumineux.** C'est la grandeur caractéristique d'un flux de rayonnement exprimant son aptitude à produire une sensation lumineuse évaluée d'après les valeurs de l'efficacité lumineuse relative. Cela signifie que l'énergie de toutes les bandes de longueurs d'ondes du spectre émis par une source a été interprétée par l'œil ou un récepteur physique possédant la même sensibilité spectrale et que le flux de la source est la somme de ces interprétations.

**four à convection forcée.** La cuisson des denrées est effectuée par l'air chaud dans un mouvement renforcé par une turbine (appelé aussi four à chaleur tournante).

**four à convection naturelle.** Les mets sont cuits soit directement par les combustibles qui proviennent du brûleur, soit indirectement par l'air chauffé par les parois.

**four à micro-ondes.** Appareil équipé d'un magnétron qui engendre des ondes électromagnétiques de haute fréquence (2 450 mégahertz). Les molécules des denrées à cuire, sous l'action des micro-ondes, oscillent à très grande vitesse en changeant de place et provoquent un échauffement très rapide des matières organiques.

## G - H - I

**givre de guérison.** Trace laissée dans un cristal par une cristallisation secondaire, venant combler les vides dus à des fêlures accidentelles survenues lors de la formation du cristal.

**gradateur.** *n.* Dispositif permettant de faire varier le flux lumineux des lampes d'une installation d'éclairage.

**granulation.** *n.* Décor obtenu sur un fond en or, en y faisant adhérer de minuscules boules d'or disposées en semis ou en filigrane.

**grilloir.** *n.* Élément de chauffe placé sous la voûte d'un four pour réaliser les cuissons par rayonnement.

**habillage.** *n.* C'est l'ensemble des techniques qui permettent de valoriser un produit aux yeux de l'acheteur potentiel : impression directe de l'emballage, étiquetage, staniolage, surbouchage, etc.

**halogène.** *n.* De l'iode, du fluor ou du brome (qu'on appelle halogènes) sont ajoutés au gaz normal de remplissage des ampoules pour éviter le noircissement par processus chimique interne qui empêche tout dépôt sur l'ampoule. Dans une lampe à incandescence courante, la température élevée du filament provoque l'évaporation de particules de tungstène qui se condensent sur la paroi de l'ampoule. L'halogène supprime cet effet néfaste.

**horlogerie.** *n.* Conception, réalisation et diffusion d'objets capables de mesurer le temps.

**immuno-électrophorèse.** *n.* Méthode consistant à faire diffuser dans un milieu gélifié un immunsérum au contact d'un antigène spécifique. La rencontre de l'immunsérum et de l'antigène détermine des zones de précipitation visibles et photographiables, permettant de mesurer la quantité d'antigènes ou d'anticorps en présence.

**immuno-fluorescence.** *n.* Méthode qui consiste à placer au contact d'une cellule supposée infectée des anticorps sériques obtenus chez l'animal, couplés avec un corps réagissant par une fluorescence à l'influence des rayons ultra-violets. Si la cellule infectée renferme l'antigène spécifique des anticorps expérimentaux, on voit sous le microscope à ultra-violets la cellule s'illuminer, traduisant ainsi la fixation de l'anticorps fluorescent par l'antigène présent dans la cellule.

**incandescence.** *n.* L'incandescence est une émission de lumière visible due à l'excitation thermique.

**inclusion.** *n.* Aspect que prennent, après coloration au microscope optique ou en examen au microscope électronique, les structures résultant de la croissance d'un virus et donnant lieu à des aspects morphologiques différents de ceux de la cellule normale. L'aspect particulier de certaines inclusions qualifiées de spécifiques permet de faire le diagnostic d'un virus causal (rage) ou d'une catégorie de virus qui donnent tous des inclusions du même type (inclusion herpétique).

**infrarouge (rayonnement).** Rayonnement de radiations dont la longueur d'onde est plus grande que celle du rayonnement visible.

**inhibition.** *n.* Action d'inhiber. Phénomène consistant à empêcher, à l'intérieur d'une cellule, une action physiologique ou l'apparition d'une lésion sans qu'il y ait nécessairement destruction de l'agent pathogène cause de la lésion ou de l'action constatée en absence d'inhibition.

**intensité lumineuse (diagrammes).** Ce sont des diagrammes, sous forme polaire, qui représentent les distributions de lumière non symétriques dans au moins deux plans : un plan vertical passant par l'axe du luminaire; un plan perpendiculaire à l'axe.

**IRC.** Indice de rendu des couleurs.

**I.S.O.** Organisation internationale de normalisation. Comprend les organismes nationaux de normalisation de 57 pays plus 15 membres correspondants.

**isolux (courbes).** Ce sont des courbes qui réunissent les points d'égal éclairement.

## L

**labilité.** *n.* Action imposant un changement ou une modification d'état ou de structure. C'est le contraire de la stabilité qui consiste dans la résistance aux actions tendant à imposer un changement.

**laminage.** *n.* Opération qui consiste à amincir une plaque de métal en l'allongeant par écrasement entre deux cylindres d'acier.

**lapidaire.** *adj.* ou *n.* Qui concerne les pierres ou la taille des pierres. Artisan qui taille les pierres précieuses autres que le diamant (diamantaire).

**lave-linge à chargement frontal.** Lave-linge comportant en façade un hublot qui donne accès à une ouverture du tambour destinée à y introduire le linge.

**lave-linge à chargement par le haut.** Lave-linge équipé d'un tambour muni d'une ouverture périphérique fermée par une porte à glissière.

**lave-linge à pulsateur.** Les agitateurs de formes variées, ou une turbine, sont fixés dans la cuve et animés d'un mouvement de rotation. Ce principe de fonctionnement est essentiellement utilisé pour les petits appareils portatifs.

**lave-linge à tambour.** Un tambour cylindrique, perforé et inclus dans la cuve, tourne autour d'un axe horizontal. Le linge est mis en mouvement par les palettes du tambour.

**liant.** *n.* Produit servant à faire adhérer une substance sur un support tel que le verre d'une lampe ou le fond d'un tube cathodique.

**lingot.** *n.* Tout parallélépipède de métal coulé dans une lingotière.

**lisse.** *n.* Organe du métier à tisser Jacquard, en textile ou en métal, et comprenant une ouverture : le maillon (voir ce mot).

**lixiviation** ou **percolation.** *n.* Opération consistant à extraire à l'aide d'un solvant (eau, alcool, éther) les principes actifs contenus dans une drogue d'origine végétale. Le solvant neuf est introduit sur une poudre et la traverse, ce qui assure un épuisement plus efficace que la macération. La préparation du café est un exemple de percolation.

**luminescence.** *n.* C'est un phénomène d'émission par la matière d'un rayonnement électromagnétique dont l'intensité, dans certains cas, est plus forte que celle du rayonnement thermique de cette matière à la même température.

**luminosité.** *n.* Sensation visuelle selon laquelle une surface paraît émettre plus ou moins de lumière.

**lyophilisation.** *n.* Méthode consistant à dessécher dans le vide un produit préalablement congelé. Encore appelée cryodessication.

## M - N - O

**magnétron.** *n.* Oscillateur à haute fréquence émettant des faisceaux d'ondes électromagnétiques de haute fréquence.

**maillon.** *n.* Ouverture située au milieu de la lisse, afin de permettre le passage du fil de chaîne, de façon à le faire se mouvoir.

**marchure** ou **pas.** *n.* Espace compris entre les fils de chaîne, levés afin de laisser le passage à la navette.

**microniseur.** *n.* Dispositif utilisé pour réduire une substance en poudre fine. Les particules produites ont des dimensions de l'ordre du micromètre.

**moule ébaucheur.** Dans la fabrication de la bouteille de verre, c'est le moule qui recueille la paraison. Il donne une « ébauche » de bouteille sur laquelle la bague a déjà été formée définitivement.

**moule finisseur.** Dans la fabrication de la bouteille de verre, c'est dans ce moule que la bouteille prend sa forme définitive. Le démoulage s'effectue après refroidissement du moule.

**néoplasie.** *n.* Déviation de la croissance d'un tissu qui devient désordonnée, échappe au contrôle de l'organisme et aboutit à la formation de tumeurs.

**néphélométrie.** *n.* Méthode optique de mesure qui consiste à observer l'opacité progressive apparaissant dans un liquide sous l'influence d'une réaction chimique ou du conflit entre un antigène et un anticorps. L'opacité est d'autant plus grande qu'il y a plus de matière entrant en réaction. On peut ainsi opérer un dosage des éléments causant l'apparition de cette opacité.

**nielle.** *n.* Décoration en incrustation sur fond d'argent, résultant de l'application à chaud d'une matière noire, le « niel », composée de sels métalliques (argent, cuivre, plomb).

**nouage.** *n.* Voir *tordage*.

**numération globulaire.** Opération qui consiste à dénombrer les globules rouges ou blancs contenus dans un millimètre cube de liquide biologique, généralement de sang.

**occulteur.** *n.* C'est un écran paralume (voir ce terme) disposé entre les deux voies de circulation contraire des routes pour éviter l'éblouissement dû aux véhicules venant en sens inverse.

**once.** *n.* Plus précisément *once troy*, unité de masse encore utilisée dans la cotation internationale de l'or et valant 31,1 035 grammes.

**oncologie.** *n.* Étude des tumeurs qualifiées de cancéreuses. Action oncologique : influence des substances entraînant la transformation des cellules normales en cellules cancéreuses.

**ourdissage.** *n.* Action première de réalisation d'un tissu. Elle consiste en la mise en place des fils de chaîne; ceux-ci sont disposés parallèlement et dans un ordre donné composant l'ensouple (voir ce mot).

## P - R

**palette.** *n.* Support (en bois ou en plastique) destiné à la manutention de charges conçues pour le transport en quantités. Elles existent en versions normalisées 800 × 1 200 mm et 1 000 × 1 200 mm.

**paraison.** *n.* C'est la quantité de matériau (verre ou plastique) mise en œuvre (et prédécoupée) pour la fabrication d'un pot, d'un flacon ou d'une bouteille. Elle est recueillie dans le moule de fabrication.

**pasteurisation.** *n.* Traitement thermique que l'on fait subir à un produit alimentaire pour inactiver les micro-organismes qu'il contient pendant le temps nécessaire à sa distribution et à sa consommation. Le traitement dure plusieurs dizaines de minutes à une température voisine de 60-70 °C. La pasteurisation se fait généralement dans le récipient. En vrac, elle porte le nom de pasteurisation en vrac ou de flash pasteurisation (voir ce terme).

**pectoral,** *n.* Plaque ornementale parfois somptueusement décorée (par exemple, chez les Égyptiens), portée sur la poitrine et couvrant plus ou moins les épaules et le dos.

**peigne.** *n.* Appareil posé sur les métiers à tisser afin de maintenir les fils des ensouples dans leur ordre d'ourdissage et dans l'écartement souhaité.

**pépite.** *n.* Masse d'or natif, généralement petite (d'où son nom signifiant pépin), alluvionnaire ou véhiculée par les cours d'eau.

**percolation.** *n.* Voir *lixiviation*.

**phiale.** *n.* Pièce d'orfèvrerie antique, coupe plate sans pied ni anse, souvent décorée au repoussé et parfois ornée d'un élément central en relief ou « omphalos ».

**phosphorescence.** *n.* Luminescence qui persiste un temps appréciable après l'excitation.

**photomètre.** *n.* Appareil servant à mesurer des grandeurs relatives aux rayonnements.

**pied.** *n.* Le pied d'une lampe est la partie en verre qui obstrue l'ampoule et est traversée par les arrivées de courant.

**plaque vitro-céramique.** Le matériau vitro-cristallin recouvre et enferme les résistances posées sur un ciment réfractaire. Le vitro-cristallin, obtenu par le traitement thermique d'un verre spécial, est indilatable et peut subir, sans se modifier, un écart de température allant de 0 à 700 °C.

**polyploïdes.** *adj.* Se dit de cellules anormales ayant un nombre aberrant de chromosomes, nombre en général supérieur au nombre 2N qui caractérise l'espèce. Les cellules polyploïdes sont des cellules généralement dérivées des tumeurs cancéreuses. Elles ont de ce fait un caractère néoplasique qui empêche de les utiliser pour des préparations destinées à la thérapeutique.

**porphyre.** *n.* Pierre volcanique très dure. En pharmacie, on l'utilise pour réaliser des appareils destinés à broyer très finement des produits solides, notamment pour les pommades oculaires.

**portée.** *n.* La portée indique, sur le métier Jacquard, le nombre de crochets pouvant actionner les lisses indépendamment les unes des autres.

**pouvoir de congélation.** Quantité de denrées qu'il est possible de congeler dans un congélateur, par 100 l, en 24 heures. Le poids des denrées fraîches qui peuvent être congelées est compris entre 4,5 et 6,5 kg.

**pré-emballage.** *n.* C'est l'ensemble d'un produit et de l'emballage individuel dans lequel il est pré-emballé, c'est-à-dire introduit hors de la présence de l'acheteur et de telle sorte que la quantité de produit contenue dans l'emballage ait une valeur choisie à l'avance et ne puisse être modifiée sans altérer celui-ci.

**propellant.** *n.* On désigne ainsi le gaz propulseur d'un aérosol.

**pyrolyse (nettoyage du four par).** Le procédé à pyrolyse consiste à détruire les graisses et autres projections à une température de 500 °C environ pendant un cycle de nettoyage indépendant des périodes de cuisson. Dès que la température de l'enceinte s'élève à 300 °C, un dispositif de sécurité verrouille la porte.

**rayonnement.** *n.* Le rayonnement est une émission sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

**récipient-mesure.** *n.* C'est un emballage en verre ou en tout autre matériau présentant des qualités de rigidité et de stabilité donnant les mêmes garanties métrologiques que le verre quand ce récipient :
— bouché ou conçu pour être bouché, est destiné au stockage, au transport ou à la livraison des liquides,
— a une capacité nominale égale ou supérieure à 0,05 litre et inférieure ou égale à 5 litres,
— a des caractéristiques de fabrication et de construction telles qu'il peut être utilisé comme récipient-mesure c'est-à-dire permettre, lorsqu'il est rempli jusqu'à un niveau déterminé ou jusqu'à un pourcentage déterminé de sa capacité à ras-bords, la mesure de son contenu avec une précision suffisante.

**réflexion.** *n.* Renvoi du rayonnement par une surface sans changement des fréquences.

**réflexion diffuse.** La réflexion régulière ne se manifeste pas à l'échelle macroscopique.

**réflexion mixte.** Réflexion en partie spéculaire et en partie diffuse.

**réflexion spéculaire.** Réflexion sans diffusion. Un miroir a une diffusion spéculaire.

**réfraction.** *n.* Changement de direction de la propagation d'un rayonnement, dû aux variations de la vitesse dans un milieu optiquement non homogène ou au passage d'un milieu à un autre.

**réfrigérateur à absorption.** L'utilisation d'une source de chaleur permet d'effectuer le cycle de transformation du fluide frigorigène. Elle joue le rôle de moteur et envoie le fluide frigorigène du bouilleur au condenseur où il se liquéfie. Il s'évapore ensuite en absorbant la chaleur à l'intérieur.

**réfrigérateur à compression.** Le compresseur aspire le fluide frigorigène et passe ensuite dans l'évaporateur où il s'évapore en absorbant la chaleur à l'intérieur de l'armoire dont il abaisse ainsi la température.

**régénération.** *n.* Dans un lave-vaisselle, au cours de l'adoucissement d'eau, la résine se dégrade. La régénération de l'adoucisseur s'opère avec du sel chimiquement pur, qu'il faut renouveler périodiquement après un certain nombre de lavages de la vaisselle.

**réglage de la chaleur moyenne d'une plaque de cuisson.** La puissance de la plaque restant toujours au maximum, c'est la variation de la durée de passage du courant qui détermine la chaleur moyenne émise.

**réglage de la puissance d'une plaque de cuisson.** Le mode le plus fréquent consiste à utiliser plusieurs résistances qui permettent d'obtenir six valeurs différentes de chauffe : allure forte, quatre allures intermédiaires, allure douce.

**réglage de la température d'une plaque de cuisson.** Le réglage thermostatique a pour objet de maintenir à une température donnée le foyer de cuisson en fonction de la température du fond du récipient, mesurée à l'aide d'un palpeur avec lequel il est mis en contact.

**repercé.** *n.* Décor obtenu sur une plaque de métal par découpage à la scie.

**repoussé.** *n.* Décor en relief, effectué par martelage et de manière analogue au ciselé, mais en travaillant sur l'envers de la plaque.

**ribosomes.** *n.* Organites d'une cellule vivante formés de granules d'acide nucléique dont l'acide est un acide ribonucléique. Les ribosomes sont les récepteurs des messages transmis depuis le noyau par l'ARN messager et commandent la synthèse des protéines par la cellule.

## S

**spectre visible.** On appelle visible la partie du spectre électromagnétique à laquelle l'œil est sensible et située entre l'ultraviolet et l'infrarouge.

**stabilisation.** *n.* Action de stabiliser l'intensité qui traverse les lampes à décharge après leur amorçage. A cette fin, on utilise un ballast.

**staniolage.** *n.* Technique qui consiste à draper, sur le col pré-encollé d'une bouteille, une bande de papier aluminium ou de complexe aluminium prédécoupée à la longueur voulue.

**starter.** *n.* Dispositif qui permet le préchauffage des électrodes pour l'allumage des lampes à décharge. Il peut fournir une pointe de tension en combinaison avec le ballast monté en série.

**stérilisation.** *n.* Traitement thermique que l'on fait subir à l'ensemble produit-emballage pour le stabiliser microbiologiquement. La température de traitement atteint 110 à 130 °C et le traitement dure plusieurs dizaines de minutes. Cette technique perturbe les caractéristiques organoleptiques du produit. Utilisée pour les conserves, elle porte le nom d'*appertisation*.

**sublimer, sublimation.** Action physique consistant dans le passage direct de l'état solide à l'état gazeux sans intermédiaire liquide. La sublimation de l'eau se produit à basse température et dans le vide. La glace se transforme en vapeur d'eau sans phase liquide.

**surbouchage.** *n.* Opération de pose sur le col d'une bouteille ou d'un flacon d'un accessoire essentiellement décoratif qui se superpose à la fermeture proprement dite (bouchon, capsule,...).

**surfactif.** *n.* Agent capable d'abaisser la tension superficielle de l'eau. On dit encore *tensio-actif*.

**synergiques.** *adj.* Actions de nature indépendante et s'exerçant dans le même sens ou produisant le même effet en se renforçant mutuellement.

## T - U - V - W

**table à induction.** Un inducteur engendre, grâce à un générateur électronique, un champ magnétique pendant la cuisson. La cuisson s'effectue, lorsqu'un récipient en fonte ou en acier est posé sur la plaque, par échauffement direct du fond de récipient.

**table top.** Plan de travail, situé à une hauteur de 850 à 854 mm ou de 900 à 904 mm, équipant le réfrigérateur, le lave-vaisselle, le lave-linge, le congélateur.

**teinture.** *n.* En pharmacie, préparation à base d'alcool où l'on a incorporé une ou plusieurs substances médicamenteuses. *Ex. :* teinture d'iode. On réserve de plus en plus ce nom à des solutions extractives de drogues d'origine végétale ou animale (teinture d'arnica, d'aconit...).

**tératogène.** *adj.* Se dit d'une substance ou d'un virus qui entraîne, au cours de la vie fœtale, la formation d'un monstre par action sur le développement de l'embryon.

**terre de diatomées.** Les diatomées sont des algues microscopiques à carapace siliceuse brune, abondantes dans toutes les eaux ; elles se déposent en sédiments (terre), qui constituent une pâte de polissage fine et tendre.

**terre d'infusoires** ou **Kieselguhr.** Silice extrêmement divisée provenant d'infusoires microscopiques fossiles. La terre d'infusoires sert d'adjuvant de filtration en évitant le colmatage des filtres.

**thermocouple.** *n.* Dispositif de sécurité qui fonctionne à l'aide d'un électro-aimant, alimenté par un courant sous faible tension (produit par le thermocouple), et qui maintient le débit du gaz. Si l'électro-aimant n'est plus alimenté (le brûleur vient à s'éteindre, et le thermocouple n'est plus chauffé), il se sépare du clapet qui stoppe le débit du gaz.

**tordage** ou **nouage.** *n.* Opération consistant à réunir par torsion particulière chaque fil d'ensouple au fil passé dans la dent du peigne et dans la lisse.

**torques.** *n.* Collier réalisé par la torsion d'un ou de plusieurs fils de métal, très usité chez les Celtes.

**toxine.** *n.* Poison soluble sécrété par des bactéries. La toxine pénètre dans le sang et se fixe sur un tissu ou sur un organe, le plus souvent le système nerveux, où le poison se fixe « comme l'encre sur le buvard ». Les toxines sont de nature protidique. On sait aujourd'hui les préparer à l'état de grande pureté et d'extrême concentration permettant de les visualiser à l'état cristallisé.

**transformation blastique.** Sous l'influence de certaines substances, et notamment des antigènes auxquels ils sont sensibilisés, on peut voir les lymphocytes sanguins d'origine thymique (lymphocytes T) se transformer en cellules ayant l'apparence d'une rosette, analogues aux cellules en multiplication rapide que l'on observe dans les premiers stades du développement d'un œuf fécondé.

**transmission.** *n.* Passage de radiations dans un milieu sans modification de la fréquence.

**tripoli.** *n.* Roche siliceuse provenant autrefois de la Tripolitaine, et utilisée en poudre ou en pâte pour polir certains métaux et pierres.

**trypsine.** *n.* Suc digestif produit par le pancréas et qui, dans la digestion, agit sur les protéines en les décomposant en acides aminés lorsque la digestion est poussée à l'extrême. Dans l'opération qualifiée de trypsination, on fait subir à un tissu l'action ménagée de la trypsine, interrompue au bout de quelque temps de manière à séparer les cellules les unes des autres et à les obtenir soit à l'état isolé, soit en paquets cellulaires que l'on peut ensuite mettre en culture.

**tularémie.** *n.* Maladie bactérienne des léporidés (lièvres) transmissible à l'Homme. La maladie existe en France où elle a été importée par des lièvres provenant de Tchécoslovaquie, mais elle n'y est pas très répandue. Elle est au contraire commune dans les pays de l'Est et représente en Asie centrale un réel danger pour les travailleurs de la forêt.

**typhus exanthématique.** Maladie épidémique et grave transmise à l'Homme par le pou ; elle détermine après une incubation de quelques jours une fièvre élevée avec abattement profond (typhos) et accompagnée d'une éruption cutanée (exanthème) plane, rosée ou pétéchiale traduisant les hémorragies microscopiques qui se produisent dans l'épaisseur de la peau.

**U.H.T.** Ce terme désigne une technique qui consiste à porter, en continu, le lait à une température voisine de 150 °C pendant un temps de l'ordre de la seconde. Cette méthode présente l'avantage de n'avoir que très peu d'influence sur les qualités organoleptiques du produit.

**ultraviolet (rayonnement).** Rayonnement de radiations dont la longueur d'onde est plus petite que celle du rayonnement visible.

**virus spumeux.** (en anglais : *foamy virus*). Il s'agit d'un virus fréquent chez les singes et complètement latent chez eux, qui ne se manifeste qu'à l'occasion de la mise en culture des cellules de l'animal. On voit alors se développer des cellules bourrées de vacuoles qui prennent un aspect mousseux *(foam)* et sont impropres à la culture des virus.

**volume nominal (d'un récipient).** C'est la quantité de produit que contient effectivement le récipient lorsqu'il a été rempli dans des conditions opératoires définies à l'avance (température, pression, ...).

**wrap-around.** *n.* Technique qui consiste à envelopper un produit dans son emballage livré sous la forme d'une feuille de papier, carton ou complexe.

# INDEX DES NOMS CITÉS

Les références sont données par l'indication du numéro de la page où se trouve le terme, suivi, le cas échéant, des lettres *a* et *b* se rapportant respectivement à la colonne de gauche et à la colonne de droite de chaque page.

Les références sont données, pour les illustrations, par le numéro de la page en caractères gras et, pour le texte, par le numéro de la page en caractères maigres pour une simple citation, et en italique pour un développement plus complet.

Pour les différentes variantes se rattachant à un même terme, un astérisque indiquera le renvoi à ce dernier. *Ex. :*
calcin
* verre récupéré
verre récupéré (ou calcin) 158 b


## A

accumulateur 75 b
— au plomb *79-84*, **80**, **81**, **82**, **83**, **85**
— cadmium-nickel *85-87*, **85**, **86**, **87**
acides aminés 198 b, **200**
additifs organoleptiques *212-217*
aérosol 142 b, **143**
affichage digital 31 a, **31**
aflatoxine 228 b
aliments *197-224*, **197**, **198**, **201**
— (couleur des) *212-213*
aluminium *137-138*
amarante 213
amidon 206, **206**
« Amoco-Cadiz » 299 a, **300**
ancre 28 b
année bissextile 23 a
appareil de cuisson *90-97*, **90**
appertisation *149-150*
arbre de pertinence 297 a, **298**
argent 33
aromatisation *213-217*, **214**
art nouveau 9 b, **10**
« Arts and Crafts » 9 a
aspirateurs **15**
Aspirine **165**
avalanche **302**

## B

balancier spiral 28 b
ballast 49 a
bande dessinée **263**
baromètre **14**
batik 109 b
batteur électrique 88 b, **89**
Bauhaus 11 a
bêtagalactosidase 194 a
béton précontraint 11 a
beurre de cacao *227-228*
bicyclette **7**, 275 a, **275**
bouteille en verre 136, **136**
bricolage 270
broyeur 164 a, **164**
brûleur à gaz *91-92*, **91**, **92**

## C

cabriolet Adler **11**
cacao 217, **217**
cadran solaire 25 a, **25**
calcin
* verre récupéré
calculatrice **17**
calendrier *22-24*
— julien 23 a, **23**
— mondial 23 b
— révolutionnaire **24**
camée 38 b
camping *255-256*, **256**
canapé boudin **128**
candela 46 b
— par mètre carré 46 b
capsule 170
carat 33 b
carborandum 43 a
carnaval **270**
carton ondulé 138, **138**
cassette 266 b
cellophane 11 a
celluloïd 9 b
centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux **284**, **294**
centre Beaubourg 279, **280**
centrifugation en gradient de densité **176**, 177 b, **177**
céréales **202**
chaise d'Antonio Bonet **124**
— de C. Mackintosh **124**
— — R. Tallon **127**
— — Michael Thonet **124**
— moulée de Joë Colombo **129**
— pliante Plia **118**
— « slow » **124**
— tulipe de Eero Saarinen 129 a, **129**
chaise-longue de Le Corbusier **124**
— de Charles Eames **126**
champ de contraintes fonctionnelles **19**
« chef » 109 a
chimiluminescence 49 a
chocolat 219 a
chocolaterie 217, **217**
cinéma 9 b, *248-249*, **249**, *268-269*
— amateur *267-268*, **268**
clepsydre *25-26*, **26**
clivage 32 b
club de vacances 255, **255**
— Méditerranée 276 b, **276**
coalescence 165 b
code européen 68 b, **69**
collier **31**, **32**
collyre 171
complexité 20
comprimé 170, **170**, **171**
conditionnement *130-160*, **130**, **142**
— aseptique 168 b
confiserie *215-217*, **216**
congélateur *99-100*, **99**, **100**, 222
conserve de poisson **192**
contre-plaqué moulé *126-127*, **126**
contrôle granulométrique des poudres 164 a
— microbiologique **168**
corindon 43 b
corps gras *225-233*
— noir 48 a
coton *107-108*, **107**
couleur *46-47*
Crystal Palace 8, **8**
cuisinière *90-91*, **91**
cuisson-extrusion 195
culture en serre **189**
cyclotourisme **250**

## D

deltaplane **274**, 274 b
démucilagination 229 a
déshydratation 222
design 11, **18**
— industriel **10 b**, **10**, *17-18*
désodorisation des huiles 229 a, **229**
dessication 166 b
diamant 40, **42**, **43**
— (taille du) *42-43*, **42**
diapason 29 a
diffuseur 63 a, **63**
dimensions analytiques 20, **20**
dispersion 165 b
disque *265-266*, **266**
duitage 107 b
duplicateur Gestetner 11 b, **11**

## E

eau déminéralisée 169, **169**
— distillée 169 a
— régale 34 a
échappement 26 b, 27 a
— libre à ancre 28
échelle de Mohs 40 a
éclairage *45-74*
— (modes d'—) 59 a, **59**
— (des automobiles) *68-74*
éclairement 46 b
éclat d'une pierre 41 b
efficacité lumineuse 46 b
égrisé 41 a
électrodialyse 194 b
électroluminescence 49 a
électroménager *88-106*
emballage *130-160*, **131**, **133**, **134**, *141-161*, **159**
— en « pure-pack » 146, **146**
— par débordement 146
— « skin-pack » 146, **146**
— « top-pack » 147
émulsion *165-166*
engrais (fabrication des) **189**
ensouple 107 b
enveloppage de bouteilles 147, **147**
enzyme *193-194*
éponge imprimée 112, **112**
ergonomie 20
essorage 102 b
essuie-phares 71, **71**
EST
* Évaluation Sociale de la Technologie
estérification 231
étiqueteuse 157 a, **157**
Évaluation Sociale de la Technologie (EST) *284-303*, **286**, **289**, **295**, **297**, **298**, **299**
excipient 169 a, **169**
Exposition de 1900-**10**
extrudeuse **195**

## F

« Facsimile » 305 a
fauteuil de Mies Van der Rohe **124**
— gonflant **118**
— de J.-P. Laporte **127**
— de Marcel Breuer **124**
— de Rietveld **124**
— « sphère » de Eero Aarnio 129 a, **129**
fer-blanc *136-137*, **137**
fête *270-271*, **271**
filtration 165
flambage 107 b
fluorescence 49 a
flux lumineux 46 a
Foire du Trône **250**
fonte à la cire perdue 36, **36**
food-appeal 212 b, 213 b
forme *18-19*
formule de Noyes et Whitney 164 b
four *93-97*, **95**
— à gaz 95 a
— — l'électricité *95-96*, **96**
— — micro-ondes *96-97*, **96**
fourneau Oberlin 91 a
foyer de cuisson électrique *92-93*, **94**
fractionnement des huiles *229-231*, **230**
frigélisation 231 a
fromagerie **191**
fusée 28 a

## G

gamma-globuline 175 b
gaufrage (des matériaux) 156 b, **156**
gemmes 38 b
Gestalttheorie 18 b
glaçage 107 b
glucides *206-207*
glucose-isomérase 194 a
glyptique 40 b
gnomon *24-25*
gradateur de lumière 65 a
granulation 168 a

## H

hachoir 89
halles Baltard 9 a
— de Rungis **190**
hauts fourneaux **9**
héliographie 155
« homewear » 112 a
horloge à balancier 28 a
— — cellule de rubidium *30-31*
— — jet de césium 30, **30**
— astronomique **26**
— atomique 29, **29**, **30**
— de cire calibrée 25 b
— — Su Song 26 b
— florale 24 b
— mécanique *27-28*, **27**
— moléculaire à ammoniac *29-30*
horlogerie *22-31*
house-boat **276**
huiles **225**, **226**, 227, **227**
— (désodorisation des) 229 a, **229**
— (fractionnement des) *229-231*, **230**
— (raffinages des) **227**, **228**
hydrogénation *231-233*, **231**, **233**

## I - J - K

impression *109-110*
— à la planche 109 b
— au cadre (ou à la lyonnaise) *109-110*, **110**
— — — rotatif 110 a, **110**
— — rouleau 109 b
incandescence *47-48*
industrie alimentaire *188-233*, **188**, **190**
— des corps gras *225-233*
intensité lumineuse 46 b
irradiation 222, **222**
isomérose 206
ivoire sculpté **40**
jeux 248, *257-262*, **257**
joaillerie *31-44*
jouet **248**, *258-262*, **259**, **260**, **261**
jus de fruits (fabrication de) **190**
kitsch 14 a

## L

lait 221, **221**
laize 107 b
lampe à arc 45 a, *51-52*
— à décharge *52-53*, **52**, *57-58*, **57**, **64**, *64-65*, 67
— — filament axial 56 b
— — de carbone 45 a
— — halogène 51 a, **51**, *68-69*, **69**
— — incandescence **45**, *49-52*, **49**, **50**, *60-62*, *65-66*, **66**
— — lueur 56 b, **56**
— — lumière mixte *53-54*, **54**
— — lumière noire 55 b
— — ozone 55 b
— — réflecteur 50 b, **51**
— — vapeur de mercure 53, **53**, **54**
— — — de sodium *52-53*, **52**, **53**
— bas voltage 55 b
— brûle-parfum 55 b
— de projection 50 b
— — signalisation 55 b, **56**
— décor 56 a
— flamme 55 b
— fluorescente *54-55*, **54**, *62-65*, *66-67*, **66**, **67**
— germicide 55 b
— infrarouge 56 b
— miniature 51 a
— pour la photographie 51
— renforcée 55 a
— solaire 55 b
— veilleuse 55 a
lavage des emballages 141, **141**
« Lavandière » 102 a
lave-vaisselle *105-106*, **105**, **106**
lessiveuse 101 a, **101**
levier **282**
linge d'office
* torchon
— de maison *107-116*
— — table *113-115*, **113**
— — toilette *107-112*, **111**
lipides 207 a
lit Lattoflex **20**
livres *241-242*, **241**, *263-264*
loi de Stokes 165 b
loisirs *234-280*, **234**, **235**, **237**, **238**, **245**
— du troisième âge 267, **276**
lumen 46 a
— par watt 46 b
lumière *45-49*
luminaire *60-65*
— de Galli **10**
— pour lampes à incandescence *60-62*
— — lampes fluorescentes *62-65*
luminance 46 b
luminescence 48 b
lux 46 b
lyophilisation **163**, *166-168*, **167**

## M

machine à coudre 8, **8**
— — écrire **14**
— — éplucher **90**
— — laver la vaisselle *105-106*, **105**, **106**
— — laver le linge *100-105*, **102**, **103**, **104**
maïs **202**
malachite **39**
malimo 115 a
mandragore **162**
marketing *15-17*, **15**
matières plastiques *128-129*, **128**, *138-139*, **138**, **139**, **140**
matrice de pertinence 297 a
médicament *161-187*, **161**
mercerisage 107 b
« Merveilleuse » 102 a
mesure esthétique 20
métal *32-38*, **33**
méthode de Delphes 297 a
métier à tisser **108**
— Jacquard **108**
micelles 166 a
micro-organismes 205
mitigeur à levier **14**
mobilier *117-129*
— contemporain *124-125*
modularité (du mobilier) 118 b, **118**
moissonneuse **8**
montre mécanique 28 b, **28**
moulin à légumes 89 a, **89**

## N - O

nébulisation 166 b
« Nec plus ultra » 102 a
non-tissé (ou textilisé) 114
objets *5-21*
obsolescence 16 b
œuf **201**
œufs de Nuremberg 28 a
offset 155 a, **155**
or *33-35*
— fin 33 b, **33**
— gris 34
— jaune 33 b, **33**, **35**, **36**
— rose 34
ordonnancement 20
orfèvrerie *31-44*
osmose inverse 169 b
ourdissage 107 b

## P

palettisation **148**, **149**
palladium 33
parure de lit *115-116*, **116**
pasteurisation 150 b, **150**, **151**, 221
Pedo-jet 185 a
pendule **14**
— à grille bimétallique 28 b
— de G. Graham 28 b
pertinence 297 a
pétanque **274**
pétrolier **281**
photo 267, **267**
photoluminescence 49 a
photothérapie 56 b
« Picturephone » 303 b, 304, **304**
pierres *38-44*
pile *75-79*, **78**
— à auge 75 a
— Daniell 75 a
— de Bunsen 75 a
— — Volta 75 a
— Leclanché *75-79*
— sèche *75-79*, **76**, **77**, **79**
pilule 171
pipe-line **289**
plaque vitrocéramique 92 b
platine 33
plator 38 b
plexiglas 11 a
point triple 167 a, **167**
pollution atmosphérique **291**
pommade 172 a
pont de Coalbrookdale **7**
— Saint-Michel (Toulouse) **11**
pop **278**, 279
potier artisanal **239**
potion 170
prémunition 180 a
présure 194 a
production *15-17*
produits *5-21*
— textiles *107-116*
profilé **5**
projecteur *69-70*, **74**
protéines *198-206*, **200**, **201**, **204**
— de soja 203
publicité 17 a
pulvérisation des solides *163-164*
pyrolyse 96 a

## Q - R

quartz 29 a, **29**
radio *264-265*, **264**
raffinage *227-229*
— des huiles végétales **227**, **228**
rancidité des aliments 224 a
réacteur à lits fluidisés **193**
recuit 33 a
redesign 12
réfrigérateur *97-99*, **97**, **98**, **99**, **100**
remontage automatique (d'une montre) 28 b
Renault 21 ch 1933-**16**
répartition spectrale **47**
ressort spiral 27 b, **27**
révolver de Colt 9 a
riz 201, **201**
robots ménagers **18**
rocking-chair Shakes **124**
rotomoulage 139 b, **139**
roulotte **276**
rythmes de la vie 24

## S

sablier 25, **25**
safari-photo **278**
sceaux anciens **39**
sciage 41 a, **41**
séchage Hatmaker *222-223*
sèche-linge à tambour *104-105*
séchoir à cylindre **166**
sérigraphie **110**, **155**
sertissage 145, **145**
serviette de toilette 111
set de table **114**
Seveso **300**
siège ergonomique **124**
silent salesman 17 a
siphonnage 143, **143**
sirop 170
skate-board **275**
ski de fond 254 b, **254**, **255**
sky scraper 12
sniftage 144
soja **202**, 203
sonoluminescence 49 a
sport *250-251*, *272-275*, **272**, **273**
spot lumineux **61**
staniolage 156 b, **156**
starter à gaz 57 b
station de métro Père-Lachaise **10**
stérilisation *150-151*, 168 b, 221
stratifié 127, **127**
styling 12, 16 b
substances antinutritives 207 b
— toxiques *207-208*
sucre *206-207*, **206**, 225, **226**
suppositoire 171, **172**
suspension 166
système Munsell 46 b

## T

TA
* Technology Assessment
« Tachemine » 101 b
talisman de Charlemagne 41 a, **41**
Tapisserie de la manufacture des Gobelins **285**
technique et société *281-308*
technologie 284
Technology Assessment (TA) 284 b
télécopieur 305 a, **305**
téléphone 9 b
télévision *247-248*, **247**, 265 a, **265**
— par câble 305
température de couleur 47 a
textilisé
* non-tissé
TGV (train à grande vitesse) **19**
théorie des signes de Pierce 20
thermo-extrusion **204**
thermoformage 128 b, **128**, 139 b
thermoluminescence 49 a
thermomètre **14**
tireuse 143, **143**
tissage *107-108*
— Jacquard *108-109*, **108**
tissu-éponge **109**
« Tonneau à cinq pans » 101 b
topaze bleue **39**
torchon (ou linge d'office) 115, **115**
tourteau **226**
train à grande vitesse
* T.G.V.
transfert 110 b
trekking 275 a
trempe 33 a
triangle des couleurs 46 b, **47**
triboluminescence 49 a
troisième âge 276, **276**
turbinage du sucre **226**

## U - V - W

ultrafiltration 194 b, **194**, **195**
vacances *253-257*, **253**
vaccin *174-187*, **174**, **175**, **178**, **179**, **183**, **184**
— anatoxique 179 b, **179**
— grippal **181**
vaccination *182-187*, **183**
— au pistolet 185 a, **185**
— en médecine vétérinaire *186-187*
vaporisation sous vide **72**
verre *135-136*, **135**, **136**, *169-170*, **170**
— récupéré (ou calcin) 158 b
viande végétale 203
vidéo 268 b
vidéo-cassette 305 a
vidéo-téléphone *303-308*, **303**, **304**, **306**
Videovoice 304 b, **305**
virus grippal **182**
— polio **180**, **181**
Visiophone 304 b, **304**
vitamine 207 a, **207**
vitesse de crémage (ou de sédimentation) 165 b
vitro-cristallin 92 b
wind-surfer **274**

## ERRATA ET COMPLÉMENTS

Page 45, colonne de gauche, avant-dernière ligne, lire : Langmuir et non : Langmuire.
Page 45, colonne de droite, 7ᵉ ligne sous la photo, lire : Pour réduire cet échauffement, on utilise le krypton et le xénon, compte tenu que la conductibilité calorifique d'un gaz est inversement proportionnelle à sa masse atomique. Pour maintenir le filament à une température élevée, Langmuir remplaça le filament rectiligne par un filament spiralé, lequel fut remplacé par la suite par un filament à double spiralage.
Page 45, colonne de droite, en complément à la 1ʳᵉ phrase, sous le titre *Nature de la lumière :* ces champs sont sinusoïdaux si le phénomène qui leur a donné naissance est lui-même sinusoïdal.

Page 46, 9ᵉ ligne sous le titre *Quelques unités fondamentales,*

$$dF = I d\Omega$$

où $$I = \lim_{\Omega \to 0} \frac{dF}{d\Omega}$$

dans laquelle $dF$ est le flux lumineux contenu dans l'angle solide $d\Omega$.
Page 46, colonne de droite, 56ᵉ ligne, la définition doit être complétée de la manière suivante : La luminance d'une source est le quotient de l'intensité lumineuse dans la direction considérée par la surface apparente de la source dans cette même direction.
Page 46, 10ᵉ et 11ᵉ lignes sous le titre *La couleur,* supprimer « et d'une mesure calorimétrique ».

Page 47, colonne de gauche, 7ᵉ ligne, ajouter : En dessous de 6 000 °K les lampes à incandescence étant très proches du corps noir auront un bon rendu de couleur. Par contre, à la température de 2 500-3 000 °K, les lampes à incandescence émettent beaucoup plus de rouge, il y aura donc déformation du rendu des couleurs par rapport à la réalité.
Page 47, 6ᵉ et 7ᵉ lignes sous le titre *Production de la lumière* lire : Le rayonnement émis dépend de la nature du corps émetteur et de la température à laquelle celui-ci est porté.

Page 48, colonne de droite, 15ᵉ ligne, lire : 2 886/5 200 = 0,55 μm.
Page 48, colonne de droite, 29ᵉ ligne sous le titre *Production de la lumière par luminescence,* lire : 400 et 700 nm et non 4 000 et 7 600 Å.

Page 49, colonne de droite, 8ᵉ ligne, remplacer « importantes » par « de 20 lm/W au maximum ».
Page 49, colonne de droite, 13ᵉ ligne, supprimer « et conduction ».
Page 49, colonne de droite, remplacer les trois lignes situées au-dessus du titre *Caractéristiques* par : Il existe 5 types principaux de culots : B15, B22, E14, E27 et E40, et un nombre très important d'autres types.

Page 50, colonne de gauche, 2ᵉ ligne, ajouter après « ... est réduite de 20 % » : Une surtension de 10 % seulement, 240 V au lieu de 220 V par exemple, entraîne un accroissement de flux lumineux de 40 % et une réduction de la durée de vie de 70 %. Il faut toujours placer des lampes dont la tension de fonctionnement correspond exactement à la tension du secteur de manière à obtenir les performances optimales des lampes à incandescence.
Page 50, colonne de gauche, 18ᵉ et 19ᵉ lignes, ajouter après « ... sens s'attirent : D'autre part, l'échauffement intense des points de plus faible diamètre entraîne la rupture à cause de l'émission importante de particules de tungstène.
Page 50, colonne de droite, 16ᵉ et 17ᵉ lignes, remplacer « une lentille qui donne la largeur du faisceau » par : une coupole en verre prismatique sur les lampes « flood » ou extensives, et en verre dépoli sur les lampes « spot » ou intensives. La largeur du faisceau est donnée par la position relative du filament et du réflecteur.
Page 50, colonne de droite, 23ᵉ ligne, supprimer « par rapport aux précédentes ».

Page 51, colonne de gauche, 2ᵉ ligne sous le titre *Lampes miniatures,* remplacer « krypton » par « xénon ».
Page 51, colonne de gauche, 7ᵉ ligne sous le titre *Lampes pour la photographie,* substituer à « recouvert en partie d'une » l'expression « remplacé par une »
Page 51, colonne de gauche, 16ᵉ ligne sous le titre *Lampes pour la photographie,* ajouter après « lumière naturelle » : « et empêche la lampe d'exploser ».

Page 53, colonne de droite, 4ᵉ et 5ᵉ lignes, remplacer 4 047 Å, 4 358 Å, 5 461 Å, 5 770 et 5 790 Å par : 404,7 nm, 435,8 nm, 546,1 nm, 577 et 579 nm.
Page 53, colonne de droite, 16ᵉ et 17ᵉ lignes, lire : Les lampes à allumage instantané n'ont un facteur de puissance voisin de l'unité que si leur appareillage de stabilisation est conçu à cet effet.
Page 53, colonne de droite, 25 et 26ᵉ lignes, lire : Les puissances varient entre 50 et 2 000 watts ; certaines atteignent 3 500 à 5 000 W.

Page 54, colonne de gauche, à la dernière ligne du premier paragraphe, après « lieux publics » ajouter « rues et routes ».

Page 55, colonne de gauche, 58ᵉ ligne, remplacer 2 537 Å par 253,7 nm
Page 55, colonne de droite, dernière ligne du paragraphe *Lampes flammes,* supprimer : « à filament bispiralé ».
Page 55, sous le titre *Lampes à bas voltage* lire : Ce sont des lampes à incandescence qui fonctionnent sous des tensions inférieures à 50 volts.

Page 56, colonne de droite, 9ᵉ et 10ᵉ lignes, sous le titre *Lampes à lueur :* lire : « le gaz de remplissage est le néon ».

Page 58, colonne de gauche, 4ᵉ à 6ᵉ lignes sous le titre *Influence de la température,* lire : Cela provient du fait que la pression de la vapeur de mercure à l'intérieur du tube est fonction de la température. En basse pression (lampes fluorescentes, lampes à vapeur de sodium BP) la température modifie sensiblement le flux émis. En haute pression (lampes à ballon fluorescent, lampes à vapeur de sodium HP), la température n'affecte que très peu le flux émis.

Page 61, colonne de gauche, 5ᵉ ligne sous le titre *Décoration* ajouter après « tout le reste n'est qu'habillage » : Il faut préciser que, dans certains cas, cet habillage peut servir à protéger la lampe et, quelquefois, l'utilisateur.

Page 64, sous le titre *Luminaires étanches,* supprimer, à la 2ᵉ ligne : « ou qui présentent des risques d'explosion » ; et aux 6ᵉ et 7ᵉ lignes : « fabriques de gaz, d'hydrogène, poste de charge d'accumulateurs... »

Page 66, dans le paragraphe *Pompage,* à la 4ᵉ ligne, remplacer « après avoir fait le vide, on introduit un 'getter' puis », par « on dépose un getter sur le filament au moment de sa fixation sur le pied, puis on introduit le gaz, argon... »

*Note relative au générique du volume XX*
Supprimer la mention : P. ROOS pour les machines à écrire et à calculer.

# GRANDE ENCYCLOPÉDIE ALPHA DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

# TECHNOLOGIE V

GRANGE BATELIÈRE, ÉDITIONS ATLAS, PARIS - ÉDITIONS KISTER, GENÈVE
ÉDITIONS ÉRASME, BRUXELLES-ANVERS



**Publiée sous le haut patronage de :**
**Messieurs les professeurs :**
**Jean DORST, membre de l'Institut,**
**Charles FEHRENBACH, membre de l'Institut,**
**Roger HEIM, membre de l'Institut,**
**Monsieur l'amiral André JUBELIN,**
**Messieurs les professeurs :**
**Pierre LÉPINE, membre de l'Institut,**
**Louis LEPRINCE-RINGUET, de l'Académie française,**
**Jean-François LEROY, professeur au Muséum national d'histoire naturelle,**
**Henri NORMANT, membre de l'Institut,**
**Monsieur Jacques PICCARD, docteur ès sciences h.c.**

| | |
|---|---|
| *Réalisation* | IDÉES ET ÉDITIONS<br>16, avenue de Friedland, 75008 Paris. |
| *Comité de direction* | Simone DEVAUX,<br>Uberto TOSCO. |
| *Rédaction* | Françoise MENU, Monique LIONS-GENTIL,<br>Vanina DORÉ, Marie-Noëlle PAILLETTE. |
| *Recherche de l'illustration* | Mathilde RIEUSSEC. |
| *Mise en pages* | Tito TOPIN et Serge BROCHE. |
| *Illustrations techniques* | Richard COLIN. |
| *Coordinateur des dessins* | Mario LOGLI. |
| *Fabrication* | Sylvia COLIN, Jocelyne TÉPÉNIER. |
| *Directeur de la publication* | Bernard BOSC. |

Les schémas portant la référence Richard Colin
ont été réalisés d'après des croquis fournis par les auteurs.

*Dans ce volume :*

LA TECHNOLOGIE V — OBJETS ET PRODUITS

R. Martinot - TOP

*Ont collaboré à ce volume :*

Pour l'introduction :

D. QUARANTE, *pour* évolution formelle des objets et produits et interactions avec la technologie ; aspects sémantiques de l'objet.

L. MAGNON, *pour* objets, produits et économie — production et marketing ; qualités formelle des objets ; les supports méthodologiques du design industriel.

Pour l'horlogerie :

R. GUIDOT.

Pour la bijouterie et la joaillerie :

COSTANZA.

Pour l'éclairage :

J. GUÉNARD.

Pour l'électro-ménager :

S. BERTHIER DE LIONCOURT, A. HATALA, A. LEMBERGER.

Pour les produits textiles et le linge de maison :

M. FLANDIN.

Pour le mobilier :

D. QUARANTE et A. MASSEAU.

Pour l'emballage et le conditionnement :

M. LEMAIRE

Pour le médicament :

G. HAZEBROUCK.

Pour les vaccins :

P. LÉPINE.

Pour les industries alimentaires :

H. CHAVERON.

Pour les loisirs :

H. POPHILLAT.

Pour les machines à écrire et à calculer :

P. ROOS.

Pour technologie et société :

X. SIX et J.-C. ZIV.


Dépôt légal : 1er trimestre 1978.
Imprimé en Italie par I.G.D.A. Officine Grafiche, Novara.

P. Sugny et P. Sauvé

▲ *Si les catalogues et les rayons des grands magasins proposent une classification fonctionnelle des objets, il n'est pas de même des petits étalages qui présentent parfois un assemblage d'objets hétéroclites.*

# OBJETS ET PRODUITS

*Aucun mode de classification des objets ou produits existant actuellement sur le marché ne peut être totalement satisfaisant : entre l'objet et le produit, l'usager et le produit, la technologie et le produit, il existe trop de liens et d'interactions possibles. Aussi, dans ce chapitre, les objets ou produits présentés ne le seront pas avec l'intention de faire un tour d'horizon exhaustif, mais seront pris comme prétexte à une connaissance plus générale. L'objet, le produit, deviendra moyen didactique de mettre en lumière des connaissances technologiques tout en faisant découvrir son fonctionnement, son utilité, sa valeur d'usage. Au travers de différents exemples transparaîtront également les rôles actuels du design industriel et du marketing. Les objets et produits présentés ici, pris aujourd'hui à une date précise de leur évolution formelle, pourront nous permettre de mieux saisir le contexte technologique, social ou historique dans lequel ils s'inscrivent.*

*Dans ce chapitre, nous entendons par objets et produits tout ce qui est actuellement fabriqué ou produit et directement utilisable par le consommateur pour usage, depuis les meubles et textiles, jusqu'aux médicaments et vaccins, en passant par les jeux, les ustensiles ménagers, la joaillerie, les produits alimentaires, l'éclairage, l'horlogerie, etc. Ne seront pas traités les objets à usage*



Turner et Newall

◀ *Fabrication industrielle d'un profilé de plinthe.*

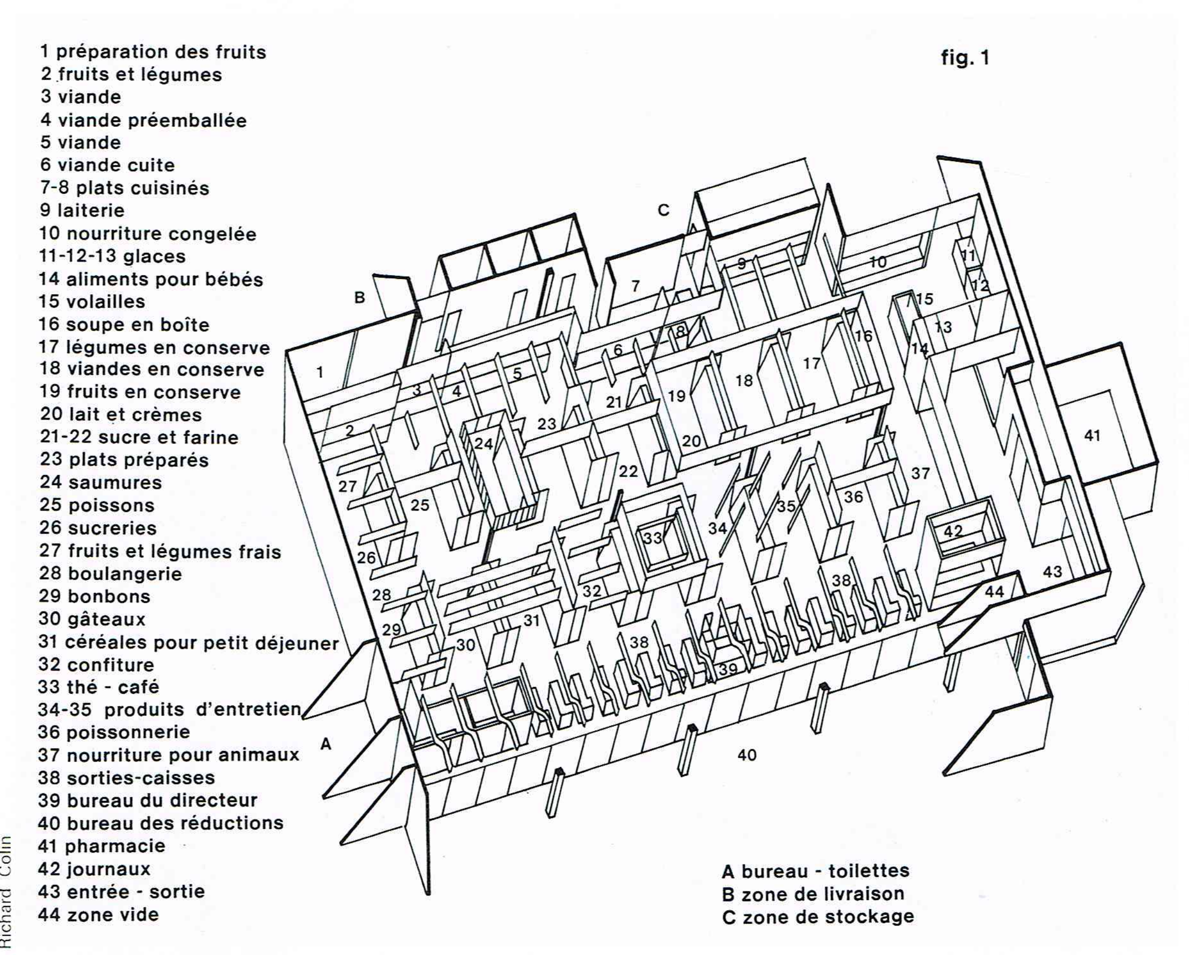
*collectif, les appareils scientifiques ou les équipements lourds ; c'est-à-dire, pour reprendre les termes de Gillo Dorflès dans l'introduction à l'ouvrage* l'Objet créé par l'homme, *les objets à usage « supra-individuel » : machines-outils, aménagements collectifs, mobilier urbain, transport collectif. De ce chapitre seront exclues les matières premières en tant que telles (acier brut, matières plastiques à l'état de granulés, etc.) ; de même seront exclus en tant que tels les produits semi-finis (profils, tôles d'acier, bois sous forme de planches, de tasseaux).*

*Il n'en reste pas moins qu'après avoir procédé à ces éliminations, le monde des objets ou produits directement utilisables par l'actuel consommateur est extrêmement vaste. La prolifération des « salons » de toute nature (Salon du meuble, Salon du bricolage, Salon du cuir, Salon du jouet, etc.) ne peut nous fournir que des renseignements d'ordre social ou, plus exactement, sur les liens sociaux qui existent entre le consommateur et le produit. Les différents catalogues de produits, celui de* la Redoute, *de* Manufrance *ou des* 3 Suisses, *proposent une classification fonctionnelle qui limite encore l'analyse. Le vocabulaire des lieux du négoce, ou des différents rayons des grands magasins ou supermarchés, ne fait que rejoindre cette classification fonctionnelle : droguerie, papeterie, boulangerie, mercerie* (fig. *1). De plus, on s'aperçoit rapidement que cela n'a rien de figé et que certains secteurs se développent au détriment de certains autres.*

*On peut essayer de mieux saisir le problème des objets ou produits par une analyse du vocabulaire actuel. On relève certains* noms composés : *abris modulaires, blocs-cuisines, qui nous font pressentir le concept de modularité. Les expressions :* chaîne stéréo intégrée *ou* éléments adaptables *nous amènent à la notion d'intégration du mobilier dans l'architecture. Les termes* électroplinthe *ou* peigne soufflant *nous renseignent sur la superposition récente, l'intégration en un seul objet de deux fonctions au départ distinctes et remplies par deux objets différents.*

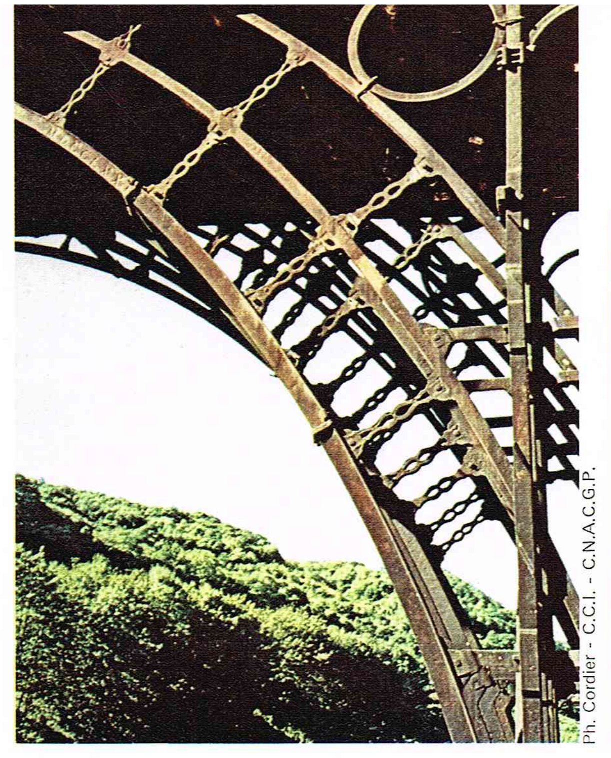
*Les choses se compliquent encore lorsque l'on compare l'évolution rapide de certains pays, leur luxe technologique, la prolifération de leurs produits et le dénuement de certains autres pays actuellement encore sous-développés.*

*Le dernier congrès de l'ICSID (International Council of Societies for Industrial Design) a formulé d'une manière très claire le problème de ce développement lié au concept de l'identité. Le but de l'ICSID est de créer des liens entre les différentes associations professionnelles de designers afin d'améliorer le bien-être matériel et psychologique de l'homme ; l'ICSID joue un rôle à la fois d'initiateur et d'informateur dans le domaine du design. Pour son X*e *Congrès, les thèmes retenus ont été l'identité et le développement, thèmes liés au développement industriel : identité du design lui-même et identité des produits, associés au développement des pays et plus particulièrement à celui des pays actuellement défavorisés. Ce problème du développement est lié à celui de l'identité par l'adaptation aux conditions culturelles et climatiques. Réponse significative de Victor Papanek à ces questions : offrir par l'information la possibilité aux différents types d'usagers de construire eux-mêmes leur propre modèle :* pencils in the hands of people *(« à chacun son crayon »).*

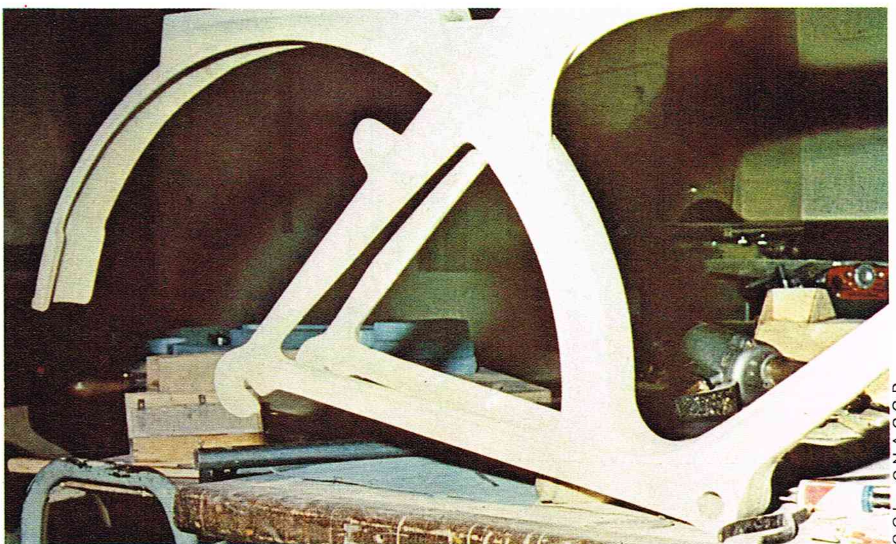



▶ ***Figure 1 :*** *emplacement des rayons dans un grand magasin (d'après un document* **Architecture intérieure CREE n° 24).**

Richard Colin



Ph. Cordier - C.C.I. - C.N.A.C.G.P.



C.C.I. - C.N.A.C.G.P.

▲ *A gauche, détail du pont de Coalbrookdale (1777-1779) de l'ingénieur Darby. A droite, projet de M. Ramond : cadre de bicyclette en fibre de verre injectée (1975).*

## *Évolution formelle des objets et produits*

Quelles sont les relations profondes qui sous-tendent l'existence des objets et produits ? Il y a peu de temps encore, jusqu'au début du XIXe siècle, le nombre des objets et produits utilisés quotidiennement était relativement restreint. Entre 1850 et 1900, une quantité incroyable d'objets nouveaux apparut. On peut citer : la machine à coudre, la machine à écrire, le téléphone, le stylo-plume, la bicyclette, l'appareil photographique.

Actuellement, les objets qui nous entourent sont très nombreux, très variés, et, pour chaque type de produit, il existe une très grande diversité de modèles. L'industrialisation a rendu possible non seulement la création de produits nouveaux, mais également celle de formes nouvelles. Ce chapitre se propose donc d'analyser cette production d'objets et de produits qui nous entourent. Afin d'éclairer la lecture de ce qui suivra, il convient au départ de faire certaines distinctions :

● **Distinction entre l'objet et le produit :**

— l'*objet* (de *objectare*, « jeter devant »), chose placée devant, qui a une destination, une certaine utilité, depuis l'outil qui prolonge la main jusqu'à l'objet industriel appréhendé par l'utilisateur ; un produit industriel devient objet dans la maison (un poste de télévision, un luminaire) ;

— le *produit* directement lié à la production industrielle, que ce soient les produits alimentaires, les produits d'entretien ou les produits électroménagers.

● **Distinction entre la technologie de fonctionnement de l'objet produit,** c'est-à-dire sa raison d'être, sa réponse à l'usage, **et la technologie de fabrication,** c'est-à-dire les moyens utilisés, les machines, les outils nécessaires à la fabrication de cet objet.

● **Distinction entre l'artisanat et la production industrielle :**

— l'*artisanat,* qui utilise diverses techniques, ces techniques étant en général propres à un matériau particulier : travail de la terre, du cuir, du bois ;

— la *production industrielle,* qui n'est pas liée à une technique particulière, mais bien à la technologie, celle-ci étant la science permettant une utilisation judicieuse de la connaissance des diverses techniques. Il semble nécessaire de rappeler ici la définition de la technologie donnée par G. Denielou dans le numéro 166 d'introduction des volumes *Technologie :* « La technologie comme étant la science des procédés et produits de l'industrie humaine. »

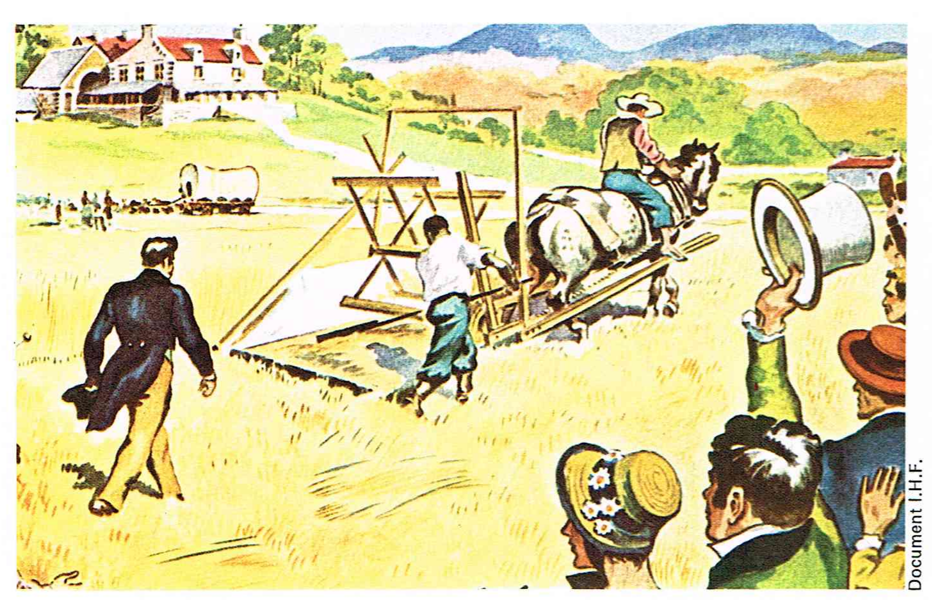
● **Distinction entre l'outil, l'objet produit de l'artisanat ou l'objet produit de l'industrie.**

Depuis les objets les plus primitifs, depuis les premiers bifaces du Paléolithique inférieur ou les haches en pierre polie du Néolithique, les rapports de l'homme et de l'objet (l'homme était alors confronté directement et physiquement avec sa production) ont complètement changé. L'outil prolongeait la main de l'homme. L'objet, l'outil (armes, couteaux, instruments de chasse) augmentait l'action de l'homme, son efficacité. A. Leroi-Gourhan écrit : « La main à l'origine était une pince à tenir les cailloux, le triomphe de l'homme a été d'en faire la servante de plus en plus habile de ses pensées de fabricant. Du Paléolithique supérieur au XIXe siècle elle a traversé un interminable apogée. Dans l'industrie, elle joue encore un rôle essentiel, par quelques artisans outilleurs qui fabriquent les pièces agissantes des machines devant lesquelles la foule ouvrière n'aura qu'une pince à cinq doigts pour distribuer la matière ou un index pour appuyer sur le bouton. »

De l'outil, en passant par l'instrument, jusqu'à la machine, l'évolution a été très lente, tandis que le passage de la machine à la machine-outil a été brutal et a complètement bouleversé la fabrication des objets et les rapports physiques et psychiques de l'homme avec ses produits. Considérons le vase de terre modelé par l'artisan et le vase en thermoplastique obtenu par injection ; leur fonction peut être la même, mais une grande différence sépare ces deux objets : l'un a des qualités formelles imprévisibles, il est unique ; l'autre a des qualités formelles prévisibles, il a été « projeté », il est le produit de série né d'un modèle défini à l'avance. Aujourd'hui coexistent dans notre environnement quotidien les deux types d'objets : l'*objet artisanal* et l'*objet industriel*, avec cependant une prédominance très nette de l'objet industriel. Comment s'est effectuée cette lente substitution ? Qu'est-ce qui distingue très précisément ces deux types d'objets ?

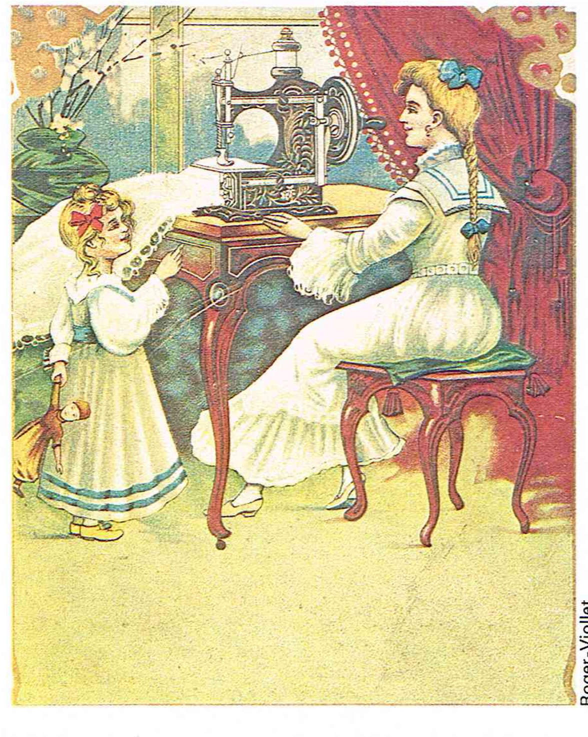
Plus qu'un essai de classification, peu probant, l'histoire peut nous donner quelques réponses. Certaines dates peuvent nous guider et nous servir de points de repère ; il faut cependant nous garder de croire qu'elles sont un point de départ précis. Il n'y a pas à proprement parler de ruptures ou de changements brutaux, il y a un lent glissement vers l'industrialisation, qui dépend à la fois des techniques passées et de la technologie actuelle. L'invention des premières horloges mécaniques, dont on peut situer l'apparition en Europe aux environs du XIVe siècle, un peu plus tard, au XVe siècle, celle d'horloges de table, plus petites, dues à l'invention du ressort moteur, plus tard encore la précision apportée par G. Graham, au début du XVIIIe siècle, par l'échappement dit « à repos » eurent autant d'importance pour l'industrialisation des produits que l'arrivée de la machine à vapeur.

La date de 1777 va cependant nous servir de point de départ ; elle correspond à la construction du premier pont en fer sur la Severn par l'ingénieur Darby. Les nouveaux apports technologiques, la machine, l'invention de l'électricité, l'utilisation de la fonte engendrent progressivement de nouvelles solutions. Le machinisme, le démarrage de la production en série réclament l'élaboration d'un schéma préalable avant toute fabrication, un projet, des plans. Les moules de fonderie, tout comme aujourd'hui les moules d'injection des matières plastiques, nécessitent une démarche qui oblige à prédéterminer les qualités formelles des produits et toutes les contraintes s'y rapportant. Sont apparus et apparaissent



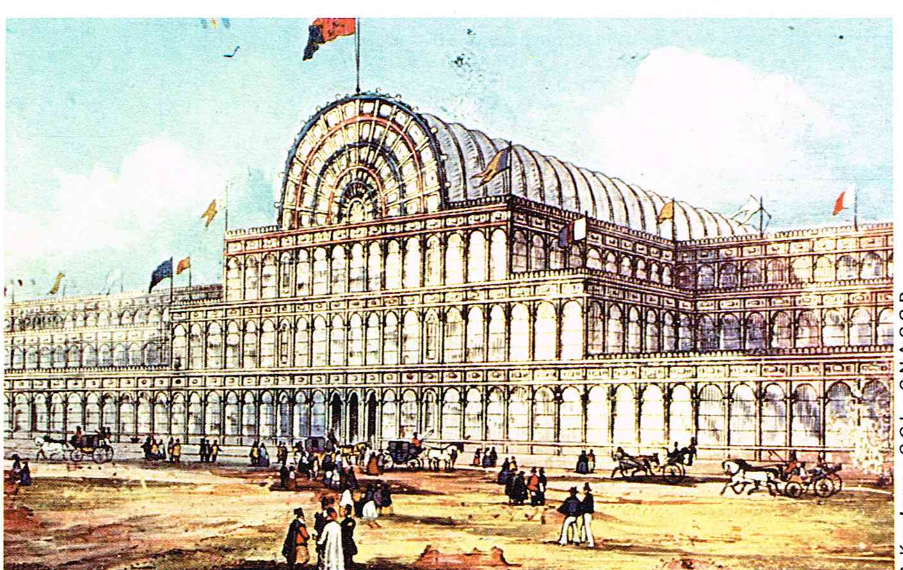
Document I.H.F.

▲ *Premier essai, premier triomphe de la moissonneuse en 1831. L'image portait en légende : « Le temps presse pour ceux qui vivent à la merci du ciel »* (Encyclopédie Mc Cormick de la motoculture).



Roger-Viollet

▶ *Ancienne machine à coudre. L'aspect s'efforce de s'améliorer par l'adjonction d'ornementations et de décorations propres à faire oublier la partie mécanique.*



P. Kneebone - C.C.I. - C.N.A.C.G.P.

▼ *Le Crystal Palace de l'Exposition universelle de Londres en 1851. La technologie apparaît ici comme la source possible d'une nouvelle architecture.*

chaque jour des matériaux aux caractéristiques qualitatives prévisibles. Actuellement, on est capable de prendre en compte avec précision le pourcentage de retrait du méthacrylate au moment du thermoformage, on est capable de prémoduler au moment de la paraison l'épaisseur de la paroi d'une bouteille réalisée en extrusion-soufflage. La révolution industrielle a complètement transformé le mode de conception des produits.

En partant de ce XVIII<sup>e</sup> siècle, où l'on prononce pour la première fois le mot « industriel », nous nous proposons de faire un très rapide tour d'horizon de l'histoire des objets et des produits. Voici quelques dates : 1790, invention du métier à tisser en France par J.-M. Jacquard ; 1796, début de l'architecture métallique ; 1817, la draisienne, du nom de son inventeur von Drais, diplomate allemand ; 1829, la locomotive à vapeur de Stephenson ; 1830, la première machine à coudre réalisée en France par Thimonnier.

On assiste en ce début du XIX<sup>e</sup> siècle à une double histoire des objets quotidiens.

* D'une part, l'éclosion de styles néo-baroque, néo-gothique, néo-mauresque, néo-turc, s'appuyant tous sur des références historiques. On prendra à ce propos l'exemple bien connu des machines à coudre dont l'aspect s'efforce de se féminiser par l'adjonction d'ornementations, de décorations, afin de faire oublier la présence mécanique de l'objet, ou l'aspect de certaines machines se parant d'ornements baroques ou de colonnes égyptiennes. « Généralement, écrit G. Simondon, tout travestissement d'objets techniques en objets esthétiques produit l'impression gênante d'un faux et paraît un mensonge matérialisé. » Il semble difficile de dissocier totalement les objets des réponses architecturales de la même époque ; les bâtiments néo-gothiques « the houses of Parliament » à Londres, de C. Barry, ou encore, à Paris, un peu plus tard, le néo-baroque de l'Opéra de Garnier.

* D'autre part, à l'opposé, et ceci n'est pas une simplification historique mais correspond bien à toute une polémique de l'époque (Garnier sollicita une pétition au moment de la construction de la tour Eiffel), on trouve les solutions fournies en grande partie par les ingénieurs proposant des objets, des produits, des machines ou des architectures émanant d'un dessin fonctionnel. C'est le début de la grande architecture métallique : serre du jardin des Plantes de Rouhault, 1833 ; bibliothèque Sainte-Geneviève de Labrouste, 1845 ; les ouvrages d'Eiffel, la construction des gares.

Certains objets ou produits illustrent cette tendance, c'est-à-dire une maîtrise profonde de la production industrielle, un accord rationnel entre la forme et la fonction. On comparera la machine à coudre surornementée et l'aspect épuré de la première moissonneuse conçue par un pionnier, Mac Cormick. Avec l'essai triomphal de celle-ci, en 1831, contraste l'accueil critique qui fut fait à l'objet lors de sa présentation en Europe : la moissonneuse fut critiquée, et cela non pas pour sa performance technique, mais bien pour son aspect dénudé.

L'Exposition universelle qui eut lieu à Londres en 1851 met bien en évidence cette ambiguïté. La construction du Crystal Palace n'inaugure pas l'emploi du métal dans l'architecture, mais son architecte Joseph Paxton est un grand novateur, tant dans la conception même de l'ouvrage (il imagina la structure de la charpente du Crystal Palace en étudiant en botaniste l'organisation de la feuille du nénuphar géant *Victoria regia,* par une démarche que nous appellerions bionique) que dans la méthode rationnelle employée pour sa construction, par la gestion même du chantier. La technologie apparaît ici comme la source possible d'une nouvelle architecture : verre et métal. Autour du Crystal Palace se retrouvent d'un côté les partisans d'un fonctionnalisme rationnel, de l'autre les partisans d'un retour aux styles du passé. Non seulement les réactions à propos de la construction en elle-même illustrent ces deux tendances, mais, à l'intérieur même du Crystal Palace, ce fait se trouva doublement vérifié. La plupart des objets présentés en 1851 contrastaient d'une manière saisissante avec l'architecture, par leur maniérisme, leur surenchère d'ornementations, fioritures, formes tourmentées, surchargées de décorations faisant oublier les fonctions primaires de l'objet.

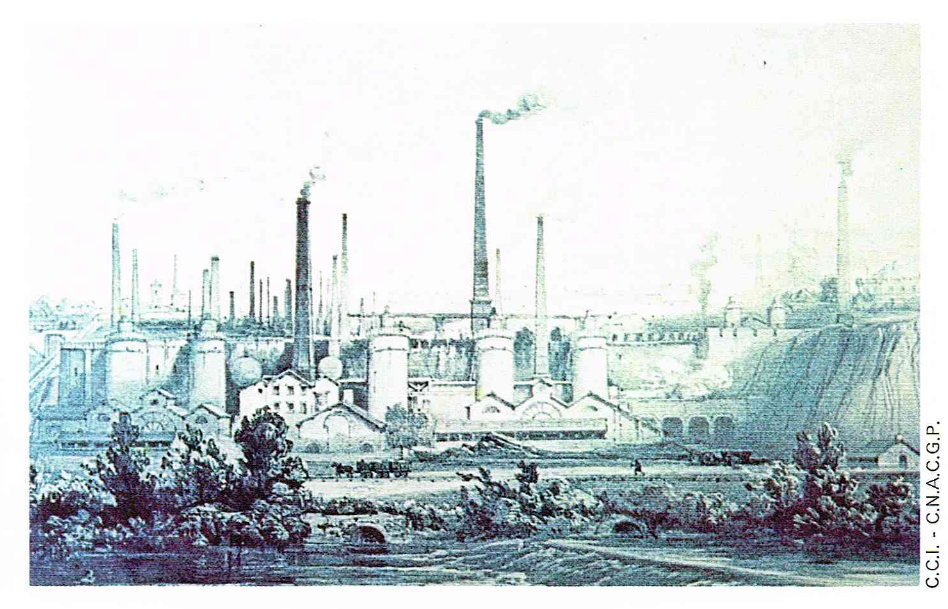
A ce moment, il n'y avait que la moissonneuse de Mac Cormick, ou encore les revolvers de Samuel Colt, pour préfigurer ce que sera le design industriel. C'est encore aux États-Unis vers 1850 que fut dessinée cette fameuse série de revolvers dont le grand intérêt de conception résidait dans l'interchangeabilité des pièces. Plusieurs modèles pouvaient être fabriqués en partant des mêmes pièces de base, véritable fabrication en série annonçant le concept de standardisation. (Déjà, en 1800, l'invention du tour automatique de Maudslay avait permis d'obtenir une uniformité dans le filetage des vis.) J. C. Migout et C. L. Bergery écrivaient en 1840 : « L'uniformité exigeait une extrême précision dans l'exécution de chaque pièce et une exactitude rigoureuse dans leur assemblage. On les prescrivit, on les obtint et par là les constructions furent portées à un tel point de perfection qu'une pièce soit en bois, soit en fer d'un certain modèle de voiture et confectionnée dans un arsenal quelconque put servir de rechange à toutes les voitures d'un même modèle confectionné dans d'autres arsenaux. »

En utilisant les nouveaux apports de la technologie, ainsi que les nouveaux matériaux, les ingénieurs proposèrent des solutions qui seront, par leur souci de fonctionnalité et d'économie de dessin dans le sens noble du terme, profondément esthétiques : en 1850, le Britannia Tubular Bridge de Stephenson ; en 1854, la construction des Halles de Baltard.

On peut relever encore quelques dates importantes : 1840, l'arrivée des produits semi-finis qui seront bientôt à la base de la réalisation de nombreuses architectures et de nombreux produits (téléphone, gramophones, luminaires, ferronnerie) ; James Nasmyth invente le marteau-pilon à vapeur qui permettra de façonner des pièces métalliques qu'il eût été impossible d'obtenir à la main ; 1850, le ciment est produit en masse ; 1856, Bessemer met au point le procédé qui permettra la production de l'acier. Aux États-Unis, James Otis expérimente à New York le premier ascenseur. C'est aussi la création du premier Sulky avec son dessin précis, léger, purement calculé pour sa fonction.

En 1859, en Allemagne, Michael Thonet propose les premières chaises de série d'une ligne très sobre en bois cintré. A la fois industriel, créateur, ingénieur, Thonet concevait les machines nécessaires à la fabrication en série de ses modèles.

C'est à peu près à ce moment-là qu'il faut situer en Angleterre l'importance de la prise de position de W. Morris dont les idées dérivaient pour une grande part de celles de Ruskin. Les théories de W. Morris ainsi que son œuvre eurent une importance considérable pour la création des objets et des produits, en particulier ceux de l'habitat. W. Morris était un « socialiste » avant tout. Replaçons-nous dans cette Angleterre victorienne : l'apparition dans les campagnes d'usines bruyantes obscurcissant les paysages (on pense aux romans de Dickens), la prolifération d'objets hétéroclites plus ou moins hideux ou inutiles produits par les machines, les conditions de vie des ouvriers, souvent infernales, contrastant avec celles de la bourgeoisie. Contre cette société industrielle dotée de tous les attributs de l'enfer, W. Morris propose un retour en arrière, un retour au Moyen Age. Il refuse totalement l'ère des machines et prêche que la beauté des objets et des produits ne peut être créée que par la main de l'homme. Il souhaitait, par ce retour à l'artisanat, combler les hommes de toutes les classes avec des objets de qualité : « Les classes populaires doivent en même temps se libérer de l'esclavage d'usine et s'entourer d'un cadre de vie dont la franchise et la pureté lui apporteront le bonheur. » Le mouvement « Arts and Crafts » est fondé sur l'initiative de Morris en 1886. On y rencontre des noms comme Ashbee, Crane, Gimson ; tous ces artistes, artisans et créateurs constatent que la machine est responsable d'une profonde modification des rapports de l'homme avec les objets. La production industrielle dépasse dans sa distribution le cadre étroit de la contrée, suscitant des intermédiaires commerciaux et supprimant le contact direct entre le producteur et le consommateur. D'autre part, l'automatisation engendre l'ouvrier spécialisé et le désintérêt de celui-ci vis-à-vis de ce qu'il produit. Les « Arts and Crafts » préconisent le retour à des méthodes anciennes quasi artisanales. Le travail se fait en groupe, et le travailleur reste en contact avec l'objet à tous les stades de la production. Dans ce dessein se constituent des ateliers artisanaux où sont fabriqués meubles, vaisselle, tapisseries, etc. Mais cette production artisanale se révèle plus coûteuse que la production industrielle ; elle est donc destinée à une clientèle privilégiée. C'est l'échec ; Ashbee propose alors d'utiliser des prototypes artisanaux comme modèle industriel, ce qui est encore un non-sens du point de vue de la production.


C.C.I. - C.N.A.C.G.P.

***▲ Hauts fourneaux de Commentry. Contre cette société industrielle, W. Morris prêche la beauté des objets et des produits créés de main d'homme. Écologiste avant l'heure, il fonde, en 1886, un mouvement défendant ses idées.***

Cependant il est certain que W. Morris a eu le mérite de poser clairement le problème de l'esthétique des objets produits par les machines. Henri Van de Velde (Belgique), fortement influencé par la pensée de W. Morris, propose de poursuivre cette recherche en créant des formes fonctionnelles parfaitement en accord avec les matériaux, mais, à l'encontre de W. Morris, en utilisant les possibilités de la machine, en réunissant l'art et l'industrie.

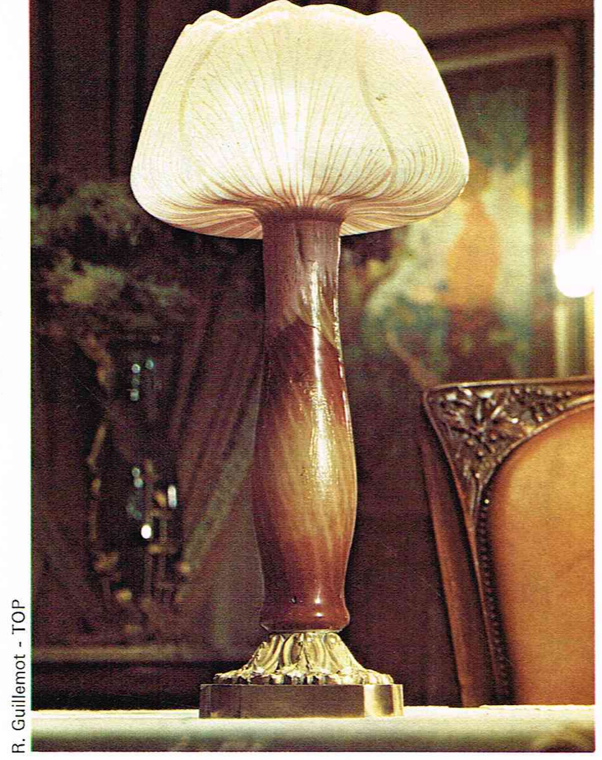
### *L'art nouveau*

Van de Velde reste à la tête du mouvement moderne de ce début du XXe siècle.

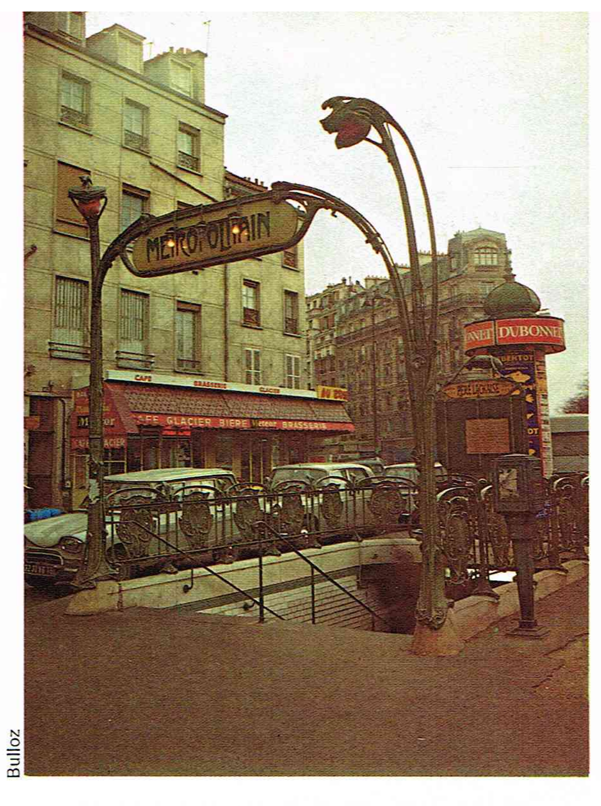
1890-1910 : nous sommes à l'époque de ce qui fut nommé « art nouveau ». Pendant vingt ans, de nombreux créateurs s'attachèrent à dessiner des objets en prenant comme modèles ou références les formes de la nature (fleurs, animaux, feuillage, femme), aspects biomorphiques concrétisés dans les objets quotidiens, un art appliqué dont le rythme, les courbes, dérivaient des formes naturelles, du vivant. L'art nouveau, qualifié à tort de style nouille (en Allemagne c'est le Jugendstil, en France le style 1900, ou Liberty en Grande-Bretagne) marque ce début du XXe siècle de réponses formelles particulièrement originales. Les motifs et modèles proposés sont parfaitement nouveaux, sans référence aucune aux styles antérieurs. Même si, en 1907, en Autriche, l'architecte André Loos publie un livre intitulé *Ornement et Crime*, nous devons nous garder de considérer, *a posteriori*, l'art nouveau uniquement comme un style. Les entrées de métro de Guimard, indépendamment de leur rythme décoratif, ont eu l'avantage de proposer pour la première fois un véritable système d'objets pour la ville ; c'est déjà la conception actuelle du mobilier urbain.

Situons encore quelques dates : 1870, invention du Celluloïd ; 1876, Bell met au point le téléphone ; 1889, Kodak sort un appareil de série ; 1895, le cinématographe des frères Lumière. Aux États-Unis, c'est la grande architecture de Sullivan, dont la célèbre formule, « la forme suit la fonction », se trouve vérifiée par l'architecture du Guaranty Building de Buffalo : « C'est la loi qui règne sur toutes les choses organiques et inorganiques, physiques et métaphysiques, humaines et surhumaines, et qui dicte toutes les vraies manifestations de l'esprit, du cœur et de l'âme : la vie se reconnaît à son expression, la forme suit toujours la fonction. C'est la loi. » Ce sera aussi l'école de Chicago avec F. Lloyd Wright. En 1896, le Prus-

▶ *A gauche, luminaire d'E. Gallé (1900) : début de l'« art nouveau ». A droite, station du métro Père-Lachaise par Guimard, à Paris. Les entrées de métro de Guimard, en plus de leur rythme décoratif, ont eu l'avantage de proposer pour la première fois un véritable système d'objets pour la ville.*



R. Guillemot - TOP




Bulloz

▼ *A gauche, vue générale de l'Exposition de 1900, à Paris. A droite, c'est en 1912 que Peter Behrens put réaliser pour la firme AEG le premier programme de design industriel, englobant l'étude des appareils, la conception des emballages, l'aménagement des locaux de l'usine, jusqu'à la présentation du catalogue publicitaire. Ici, une usine d'industrie lourde.*

sien Muthesius séjourne en Angleterre. Il y rédigera un rapport dont le contenu sera très proche des principes de l'esthétique industrielle. 1900, c'est la construction à Paris du métro ; c'est aussi l'année de la Grande Exposition, la construction du Grand et du Petit Palais, du pont Alexandre-III. 1901, c'est la création à Paris de la Société des artistes décorateurs dont la vocation sera de promouvoir les arts appliqués. En 1904, Paul Souriau écrit *Beauté rationnelle* et s'efforce de définir une parfaite symbiose du Beau et de l'Utile.

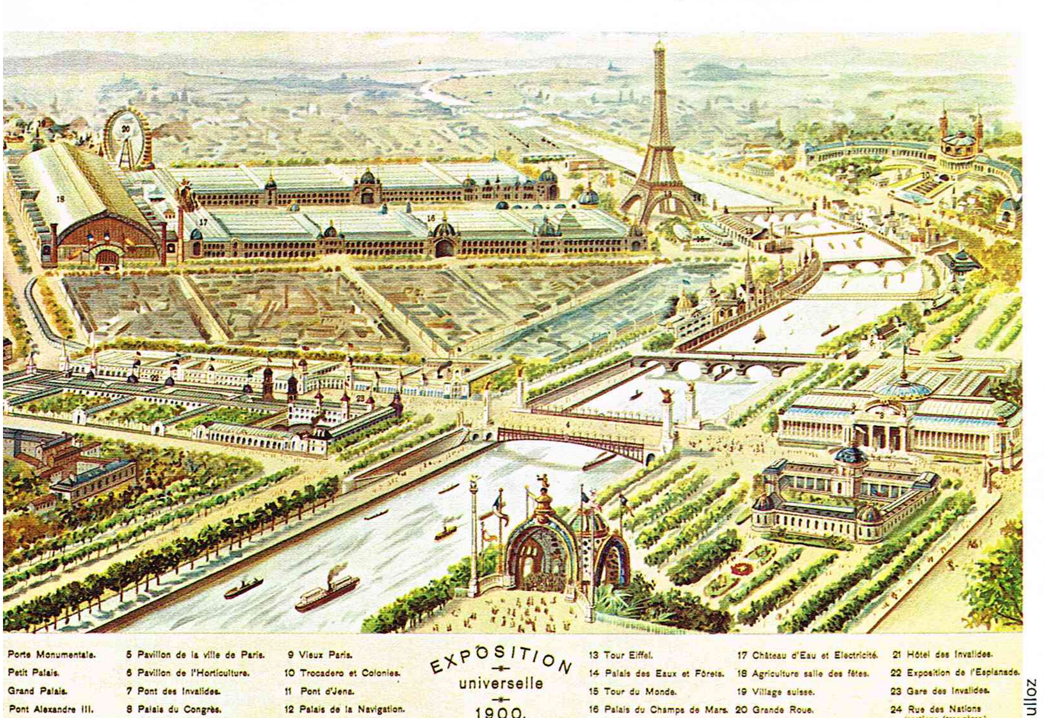
Ces années-là, on assiste à la naissance du cubisme, à la découverte du lamellé collé par Otto Hetzer. Aux États-Unis, c'est la première machine à laver. 1909 voit l'invention de la bakélite. Il semble difficile de limiter ce bilan historique à la simple production des objets dans l'habitat quotidien.

Parallèlement à cette évolution, on peut suivre dans d'autres domaines l'amélioration progressive des conditions de travail ou d'existence (en 1896, découverte de la radio-activité, des rayons X, en 1901 des groupes sanguins).

Dans ce chapitre, le lecteur découvrira plus en détail l'évolution plus précise d'un objet ou d'un produit. Ce tour d'horizon historique s'efforce seulement de mettre en lumière les interactions ayant existé entre des domaines apparemment différents.

Nous sommes arrivés en 1912, Muthesius a déjà fondé le « Deutscher Verbund » qui peut se comparer à une société d'encouragement à l'art et à l'industrie. Cet architecte allemand eut l'intention de favoriser les relations entre artistes et industriels. C'est ainsi que Peter Behrens put réaliser pour la firme AEG le premier programme de design industriel englobant l'étude des appareils, la conception des emballages, l'aménagement des locaux de l'usine jusqu'à la présentation graphique du catalogue publicitaire de la firme. Cet exemple resta isolé sinon unique en ce début de siècle. Peter Behrens a été le premier consultant artistique, c'est-à-dire le premier designer en place dans une entreprise industrielle.

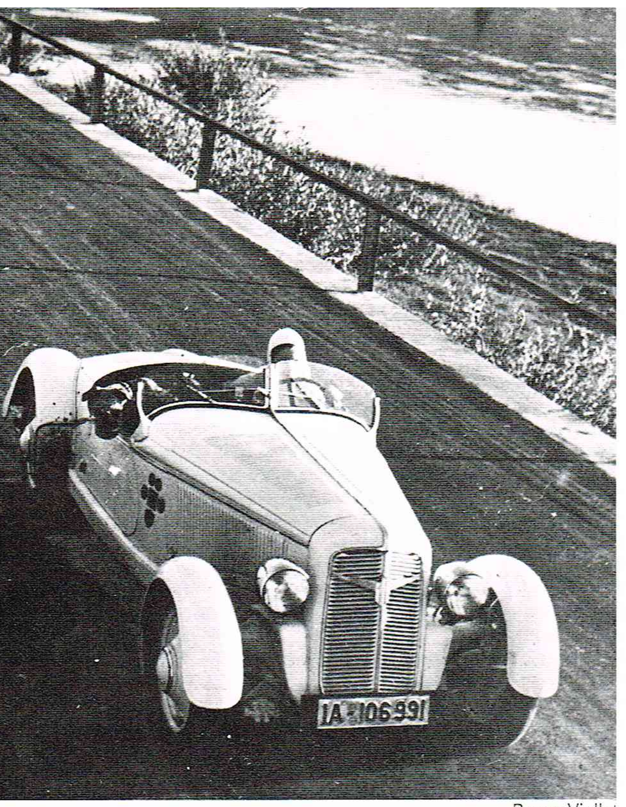
D'importants mouvements se dessinent, qui auront tous une répercussion à plus ou moins court terme sur les créations de produits ou sur les créations architecturales : le futurisme italien représenté par l'impétueux Marinetti, le constructivisme en Russie représenté par Tatlin, l'esprit nouveau et Le Corbusier, le mouvement hollandais « De Stijl » prônant la rigueur formelle, influencé fortement par l'art japonais et représenté par Rietveld, Van Doesburg et, dans la peinture, par Mondrian.



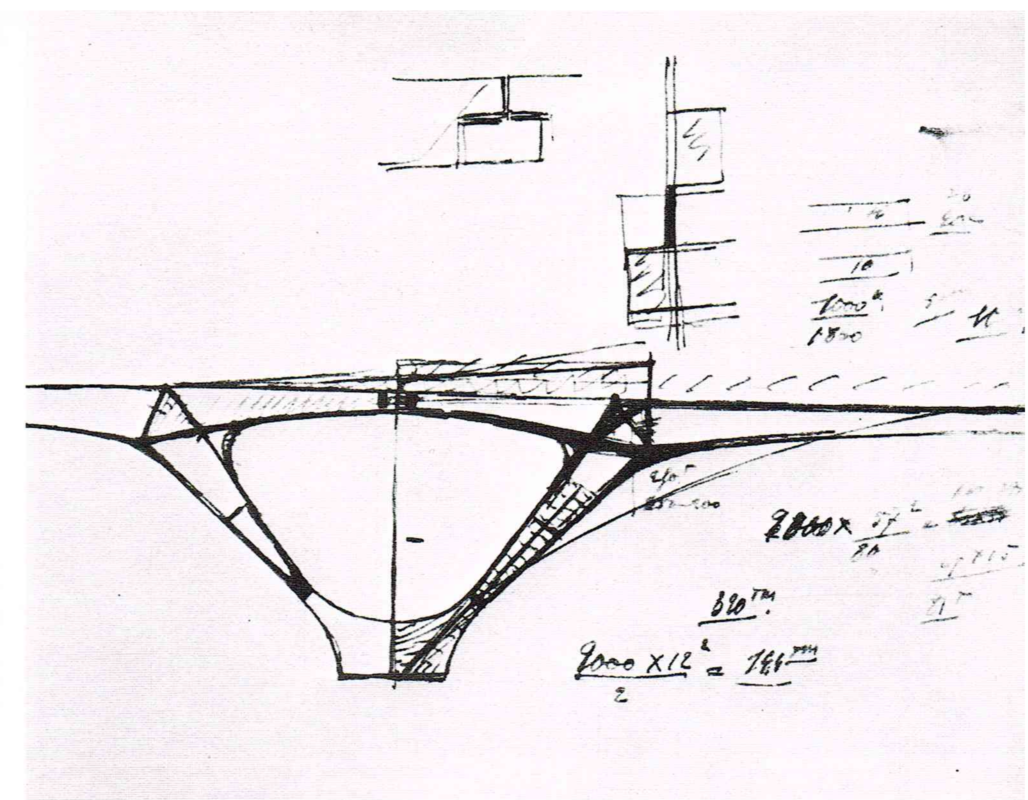

Bulloz




Lion et Tajan - C.C.I. - C.N.A.C.G.P




Roger-Viollet



Document Freyssinet



***Le Bauhaus***

C'est dans la république de Weimar que se produira un événement qui aura dans l'histoire des objets un retentissement considérable. En 1919, Van de Velde et Gropius font fusionner l'École des arts décoratifs et l'École des beaux-arts de Weimar pour créer le « Bauhaus ». Cette école est un creuset où se mêlent des représentants du mouvement « De Stijl », avec Van Doesburg, et des artistes constructivistes, tel Moholy Nagy. Beaucoup de constructivistes viennent des ateliers bolcheviques de Moscou ; ils pensent que « la science elle-même engendrera des formes nouvelles et que, pour conserver la cohérence de celles-ci, l'aspect extérieur d'un objet doit en respecter l'organisation interne ».

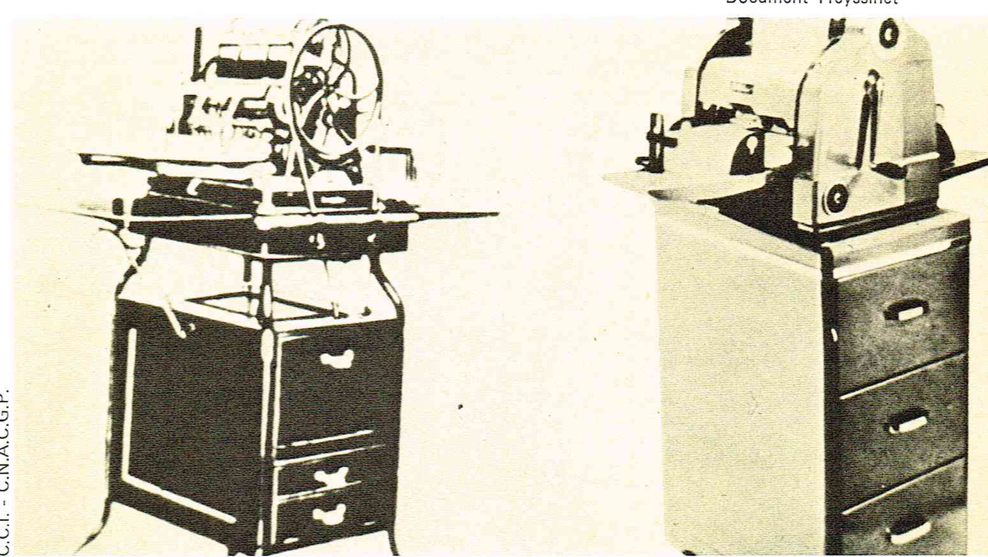
L'originalité du Bauhaus réside dans son enseignement où l'on apprend à concevoir les objets de la façon même dont ils sont perçus, c'est-à-dire globalement et non isolément. Cependant, l'attitude fonctionnaliste du Bauhaus est rigide et absolue, elle engendrera un formalisme constructiviste qui sera vite dépassé par la fonction symbolique de l'objet. Pourtant : « le Bauhaus n'avait pas pour but de propager un « style », un système ou un dogme quelconques, mais d'exercer une influence vivifiante sur la création. Un « style du Bauhaus » n'eût été qu'un retour à l'académisme stérile et stagnant et c'était justement pour le combattre que j'avais créé le Bauhaus. Nous tentions de découvrir une nouvelle attitude qui suscite une conscience créatrice chez les intéressés et qui conduirait finalement à définir une nouvelle conception de la vie ».

Le manifeste du Bauhaus, lancé en avril 1919, exprimait un désir d'œuvre totale : créer une unité fondamentale entre toutes les branches des arts appliqués, « telle la cathédrale du futur, à l'exemple des bâtisseurs, illuminer dans sa plénitude de lumière les moindres recoins de la vie quotidienne ».

Devant ce monde à construire, le Bauhaus proposait une nouvelle attitude, une nouvelle conscience créatrice. Il a certainement eu plus d'influence sur les générations suivantes par cet idéal profondement inspiré d'humanisme que par les œuvres en tant que telles qu'il a réalisées.

Parmi ces œuvres, certaines aujourd'hui nous paraissent encore très actuelles. Il suffit de citer les meubles de Breuer, les objets de Wagenfeld, les créations de Gropius ou de Mies Van der Rohe. Le Bauhaus vécut à Weimar, à Dessau ensuite. L'arrivée du nazisme entraîna sa fermeture en 1933 et l'exil de ses enseignants. Ainsi se créa aux États-Unis un New Bauhaus (1937).

Citons quelques découvertes de cette époque. De 1917 date l'invention de la Cellophane en France, de 1927 celle du Plexiglas (PMM), de 1930 celle du béton précontraint par E. Freyssinet et de 1931 celle du polyvinyle. Le premier rasoir électrique a été fabriqué en 1933.



C.C.I. - C.N.A.C.G.P.

***▲ En haut à gauche, cabriolet Adler, 1930, dessiné par Gropius. En haut, à droite, esquisse originale d'Eugène Freyssinet. Étude et croquis préliminaires du pont Saint-Michel à Toulouse. Ci-dessus, le duplicateur Gestetner, étudié par R. Loewy en 1929, est resté le symbole de l'œuvre de celui qui sera considéré comme le créateur de l'esthétique industrielle.***

***L'esthétique industrielle***

Aux États-Unis, lors du redressement qui a suivi la grande crise économique de 1929, les industriels américains seront les premiers à percevoir l'intérêt de l'amélioration esthétique des objets produits dans leurs usines, et le facteur esthétique sera utilisé comme argument de vente. Alors que le Bauhaus avait une attitude didactique, les esthéticiens industriels, tels R. Loewy ou H. Dreyfus, se contentent de répondre à l'attente des consommateurs. Raymond Loewy, dans son livre *La laideur se vend mal*, propose, en esthéticien, des études complètes visant à rajeunir, à embellir les produits industriels. Le duplicateur Gestetner qu'il étudia en 1929 est resté le symbole de l'œuvre de celui qui sera considéré comme créateur de l'esthétique industrielle.

Il faut souligner, à ce propos, qu'actuellement, l'expression « esthétique industrielle » est souvent critiquée par les designers industriels qui la trouvent trop limitative par rapport à leur démarche plus globale.

En fait, il s'agissait alors souvent de décoration apportant une valorisation sociale au produit. Certains sociologues y voient aujourd'hui l'expression d'une « culture industrielle et populaire », on pourrait dire aussi un folklore de la technologie mal comprise; car on se contente de transformer l'aspect du produit sans améliorer réellement la valeur d'usage de l'objet ni faciliter sa fabrication.

***Les premiers pas du design***

La production de guerre des années 1940 impose des conceptions plus pratiques se souciant peu de considé-

## *La charte de l'esthétique industrielle (définition de J. Vienot)*

**Définition :** l'esthétique industrielle est la science du beau dans le domaine de la production industrielle. Son domaine est celui des lieu et ambiance de travail, des moyens de production et des produits.

**1° loi d'économie :** l'économie des moyens et des matières employés (prix de revient minimum), dès lors qu'elle ne nuit ni à la valeur fonctionnelle, ni à la qualité de l'ouvrage considéré, est condition déterminante de la beauté utile.

**2° loi de l'aptitude à l'emploi et de la valeur fonctionnelle :** il n'est de beauté industrielle que d'ouvrages parfaitement adaptés à leur fonction (et reconnus techniquement valables). L'esthétique industrielle implique une harmonie intime entre le caractère fonctionnel et l'apparence extérieure.

**3° loi d'unité et de composition :** pour former un tout harmonieux, les différents organes constituant un ouvrage utile doivent, sur leur plan respectif, être conçus les uns en fonction des autres et en fonction de l'ensemble.

*Les ouvrages utiles doivent satisfaire aux lois d'équilibre statique ou dynamique dans les proportions, compte tenu des propriétés des matières employées.*

**4° loi d'harmonie entre l'apparence et l'emploi :** dans l'ouvrage qui satisfait aux lois de l'esthétique industrielle, il n'y a jamais conflit, mais toujours harmonie entre la satisfaction esthétique qu'en ressent le spectateur désintéressé et la satisfaction pratique qu'il donne à celui qui l'emploie.

*Toute production industrielle doit être génératrice de beauté.*

**5° loi du style :** l'étude du caractère esthétique d'un ouvrage ou d'un produit industriel doit tenir compte de la durée normale à laquelle il doit être adapté.

*Un ouvrage utile ne peut prétendre à un caractère de beauté durable que s'il a été conçu loin de l'influence artificielle de la mode.*

*Des caractéristiques esthétiques des ouvrages utiles d'une époque découle un style qui en est l'expression.*

**6° loi d'évolution et de relativité :** l'esthétique industrielle ne présente pas de caractère définitif : elle est en perpétuel devenir.

*La beauté de l'ouvrage utile est fonction de l'état d'avancement et de l'évolution des techniques qui l'engendrent.*

*Toute technique nouvelle nécessite le temps de la maturation pour parvenir au stade de l'épanouissement qui lui permettra de trouver une expression esthétique équilibrée et typique.*

**7° loi du goût :** l'esthétique industrielle s'exprime dans la structure, la forme, l'équilibre des proportions, la ligne des ouvrages utiles. Le choix des matières, des détails de présentation, des couleurs relève davantage du goût qui doit en être l'heureux complément, compte tenu de la loi d'économie.

**8° loi de satisfaction :** l'expression des fonctions qui donnent sa beauté à l'ouvrage utile doit s'entendre de la façon dont elle frappe tous nos sens : non seulement la vue, mais l'ouïe, le toucher, l'odorat et le goût.

**9° loi du mouvement :** les engins destinés à se mouvoir eux-mêmes dans l'espace (air, mer, route, rail) trouvent dans le mouvement qu'ils engendrent la caractéristique essentielle de leur esthétique. Aux lois d'aptitude à l'emploi et d'harmonie entre l'apparence et l'emploi s'ajoute ici un facteur de comportement dans l'élément considéré (terre, eau, air) qui domine les autres bases du jugement.

**10° loi de hiérarchie ou de finalité :** l'esthétique industrielle ne peut faire abstraction de la finalité des ouvrages produits industriellement.

*Une hiérarchie morale s'établit naturellement entre ceux-ci. Les productions industrielles qui possèdent, en raison de leur objet, un caractère de noblesse et qui sont de nature à aider l'homme à progresser, ou qui sont susceptibles d'avoir une influence salutaire dans le domaine social, jouiront d'un préjugé favorable. En revanche, les engins qui ont pour fin la destruction humaine ne sauraient prétendre à une admiration sans réserve.*

**11° loi commerciale :** l'esthétique industrielle trouve l'une de ses applications les plus importantes sur les marchés commerciaux. La loi du plus grand nombre des acheteurs ne saurait infirmer la valeur des lois définissant l'esthétique industrielle.

*La vente ne saurait être considérée comme un critère de la valeur esthétique. Lorsqu'elle en est la considération, elle témoigne de l'égalité de niveau entre le créateur du modèle et l'acheteur, toute considération de prix mise à part.*

**12° loi de probité :** l'esthétique industrielle implique honnêteté et sincérité dans le choix des matières ou matériaux employés.

*Une réalisation industrielle ne saurait être considérée comme belle, dès lors qu'elle contient un élément de mensonge, de dissimulation, de tromperie.*

*Toutefois, les revêtements et les caparaçonnages exigés fonctionnellement par une réalisation industrielle sont légitimes lorsqu'ils expriment correctement les fonctions essentielles de l'objet et qu'ils ne servent pas à dissimuler des matériaux ou des organismes susceptibles de compromettre le bon fonctionnement ou la valeur de l'objet.*

**13° loi des arts impliqués :** l'esthétique industrielle implique une intégration de la pensée artistique dans la structure de l'ouvrage considéré.

*Loin du décor plus ou moins arbitraire ou artificiel ou surajouté des arts appliqués, les arts qui concourent à l'esthétique industrielle peuvent singulièrement être dits impliqués dans le modèle à concevoir, faisant corps avec la technique et se confondant avec elle.*

Jacques Vienot (1953)
Fondateur de l'Institut d'esthétique industrielle

rations esthétiques. C'est l'époque de la Jeep, des abris métalliques, de la mise au point des conditionnements d'aliments en rations et de la création d'objets élémentaires à puissante valeur d'usage tels que le jerrican ou la tenue de combat aux multiples poches. La forme d'un objet doit avant tout être une réponse matérielle pour améliorer l'usage. Les designers américains, tels que D. Teague, qui ont participé à la conception de ces objets, annoncent le design contemporain.

Il ne faut pas confondre les notions de *styling*, qui cherche à enjoliver, à améliorer l'apparence d'un produit sans se soucier réellement de sa bonne adaptation à sa fonction, de *redesign*, qui est la modification d'un produit déjà dessiné en vue de le réadapter aux besoins du marché et qui peut en certains cas apporter de bonnes solutions d'amélioration ; le terme même d'*esthétique industrielle* explicite ses objectifs, nous l'avons vu ; quant au concept actuel de *design industriel*, il correspond à une véritable profession dont la vocation, selon la définition actuelle donnée par l'Union française des designers industriels, est, « après analyse technologique, économique et esthétique, exhaustive, de créer les formes, matières, couleurs, structures permettant d'améliorer tous les aspects de l'environnement humain conditionnés par la production industrielle, qu'il s'agisse :

— de création (ou design) de produits ;
— de création (ou design) graphique ;
— de création d'environnement ou d'ambiance visuelle ».

Par ce rapide survol historique, nous nous sommes efforcés de dégager les événements qui ont amorcé les processus étiologiques du design industriel, qui ont contribué, par le jeu des réactions d'influence ou d'opposition, à définir cette activité. Il nous a permis de comprendre comment un objet ne peut être considéré que comme une réponse à un moment donné, et comment il reste indissociable de son contexte.

### *Interactions avec la technologie*

L'évolution formelle des produits est liée à l'évolution des techniques ou à certains bouleversements sociaux. Les nouveaux matériaux autorisent de nouvelles expressions. Ainsi, les possibilités qu'offrent aujourd'hui les matières plastiques engendrent de nouvelles formes, elles ont permis la diversité des modèles actuels dans l'ameublement, la fabrication, dans le domaine hospitalier, d'instruments à jeter (seringue, linge, ustensiles chirurgicaux à usage unique) ; les presses capables de sortir des dimensions impressionnantes de profils en bois moulé ont permis dans l'ameublement la création de nouveaux modules.

Si l'on peut *a posteriori*, dégager d'une époque un style celui-ci est certainement en relation étroite avec les techniques du moment. La main, l'artisanat engendraient leurs propres formes, la machine donne de nouvelles possibilités. Si, à la fin du XVIIIe siècle, le dessin des caractères typographiques devient plus précis, c'est parce que les presses d'imprimerie ont été améliorées et au même moment également la qualité des papiers.


Ziolko - TOP

En 1879, l'apparition de la première lampe à incandescence suscite une explosion de formes nouvelles. Tout se tient. Si les premiers *sky scrapers* ont pu être construits vers 1890, c'est bien en rapport direct avec l'invention des produits semi-finis, avec le début de la production du ciment en masse et avec l'invention du premier ascenseur.

Entre l'objet, l'usager et la technologie, les interactions sont nombreuses et l'évolution d'un produit ne peut se comprendre qu'au travers de ces interactions. L'usager peut contraindre la recherche technologique à proposer des solutions nouvelles et à prendre certaines orientations. La réglementation devenue plus rigide sur les produits non-feu crée des obligations aux fabricants de fibres synthétiques. D'un autre côté, les contraintes techniques interfèrent sur la forme, la taille, l'aspect ou même le fonctionnement des produits; ainsi les progrès de la chimie, qui permettent une certaine stabilisation des pigments aux intempéries ou à la lumière, ont brutalement autorisé la couleur dans l'architecture — polychromie ou supergraphisme. De la même manière, la possibilité de teinter les granulés de matières plastiques modifie considérablement l'aspect de nos objets quotidiens. Les techniques récentes de transformation du bois ont conditionné de nouvelles formes (angles arrondis du bois moulé), tout comme les techniques de moulage des différentes matières plastiques ont complètement révolutionné l'aspect formel des objets actuels. Certains objets ont déjà été miniaturisés, en liaison directe avec l'électronique.

Un autre aspect de cette influence de la technologie est la disparition complète de certaines familles d'objets : la stérilisation industrielle a fait disparaître des ustensiles de cuisine, ne serait-ce que le bidon de lait familial ou l'anti-monte-lait, phénomène quelquefois réversible, puisqu'on a vu la réapparition récente des yaourtières qui s'équipent alors d'un dispositif électrique.

Les matériaux et les formes de nos objets évoluent, et cette transformation ne se fait pas sans regrets. En effet, nous remarquons souvent, dans l'utilisation d'un matériau nouveau, un instinct de référence à des schémas traditionnels. L'invention même d'un matériau — par exemple, celle du Celluloïd, destiné à remplacer l'ivoire des boules de billard — procède d'un désir d'imitation. Ainsi, les matériaux lamifiés (Formica, Polyrey ou autres) adoptent au départ l'aspect de matériaux déjà connus : ce sont alors les faux bois, les faux marbres, les faux lièges.

Ce n'est que progressivement que les formes réalisent leur propre autonomie. Les premiers moulins à café furent d'abord des moulins à épices. Les machines elles-mêmes ont des formes qui rappellent des modèles antérieurs : les premières automobiles eurent du mal à se dégager de la berline, la bicyclette porte encore en elle la marque du cheval dont elle est née (le hobbyhorse, la selle, les pédales dérivées des étriers, l'expression anglaise *to ride a bike*). L'existence formelle des objets semble les figer dans leur image concrète. Le vocabulaire traduit la lenteur de cette progression : la plume, le stylo-plume, le stylo, le stylo-bille.

Lorsque la machine ou l'objet répondent à une fonction entièrement nouvelle, on les voit quelquefois se parer, s'orner, se référer par le superflu au style de leur époque.

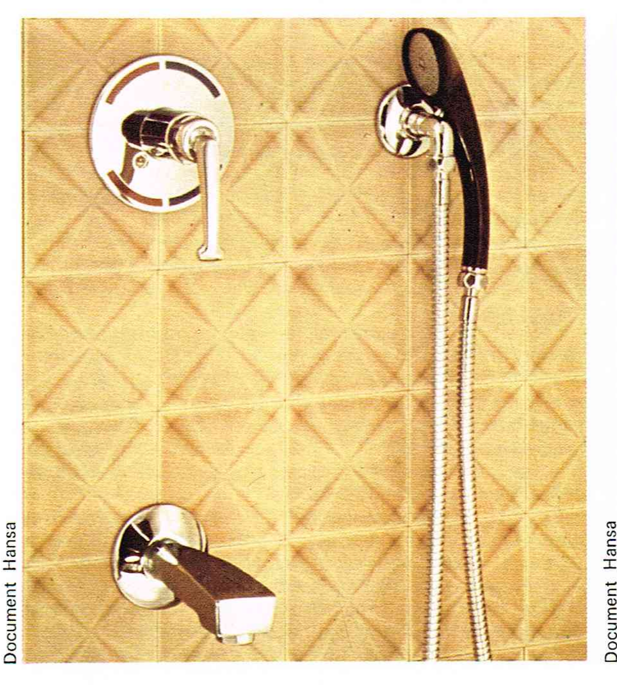
## Aspects sémantiques de l'objet

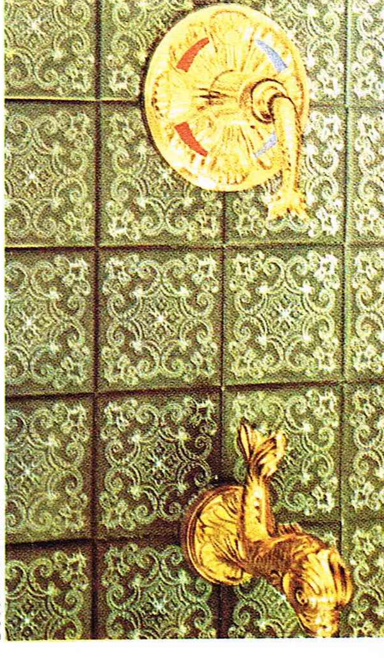
Cette réflexion nous amène à prendre en considération l'aspect sémantique, l'*aspect symbolique des objets et produits*. Indépendamment du service qu'ils rendent, indépendamment de leur fonction, les objets quotidiens, les produits dont nous sommes entourés ont une autre charge. Il suffit de regarder la diversité des formes dans l'automobile, répondant pourtant souvent au même cahier des charges, pour comprendre que nous attribuons aux objets qui nous entourent une autre dimension. Si on accepte de faire un parallèle avec la linguistique, on parlera alors de *connotations*, ce que Roland Barthes dans son livre *Mythologies* appelle « métalangage ».

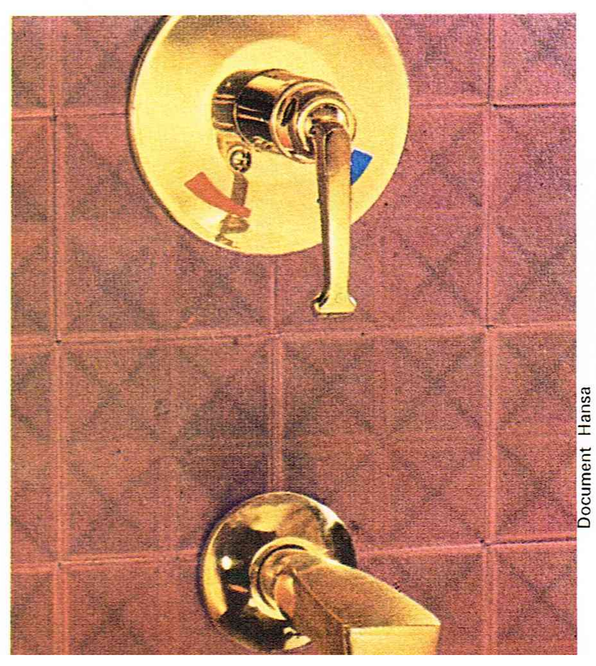
Cette dimension sémantique des objets et produits a été remarquablement analysée par Jean Baudrillard dans *le Système des objets* et dans son ouvrage *Pour une critique de l'économie politique du signe*. Les techniques de vente actuelles utilisent largement ce facteur. La pro-


M. Fraudreau - TOP

***▲ Les matières plastiques engendrent des formes et des couleurs nouvelles dans la vie quotidienne.***
***◀ Page ci-contre, à gauche, la charte de l'esthétique industrielle (texte communiqué par l'Institut français d'esthétique industrielle). A droite, mur peint à Québec, considéré comme « création d'ambiance visuelle ».***


Document Hansa


Document Hansa


Document Hansa

***◀▲ Mitigeur à levier, bec de baignoire. Débit et température de l'eau sont réglés simultanément par un seul mouvement de levier. Simplicité formelle en accord avec le maniement aisé. Même produit montrant deux exemples de stylisme. Le traitement de surface chromé-doré associe à l'objet l'idée de richesse. Ici, même mécanisme, mais surchargé et habillé. Symbole du dauphin, lui-même surmonté de motifs décoratifs mi-nageoires mi-feuillage.***



Document D. Quarante

▶ *Pendules, thermomètres et baromètres. Le kitsch.*

duction actuelle, si on considère le monde de la consommation, prend comme référence, selon Baudrillard, plus la valeur de l'objet comme signe, c'est-à-dire comme valeur d'échange, que comme service, c'est-à-dire comme valeur d'usage. Notre dépendance sociale vis-à-vis des objets nous oblige souvent à un achat motivé par le paraître autant que par le service. « Indépendants de leur statut fonctionnel, les objets qui nous entourent ont une autre valeur, *celle de l'échange signe*, les objets ne s'épuisent jamais dans ce à quoi ils servent, et c'est dans cet excès de présence qu'ils prennent leur signification de prestige, *qu'ils désignent* non plus le monde mais l'être et le rang social de leur détenteur », écrit Baudrillard.

Les exemples ne manquent pas, depuis l'automobile, en passant par la montre de femme surchargée de diamants réduisant la dimension du cadran à un disque devenant lui-même fonction symbolique, jusqu'aux pavillons de banlieue du début du siècle. Le terme « pavillon » en est bien l'illustration verbale, ses cheminées d'apparat, ses barres d'appui en place seulement du côté rue en sont l'expression visible.

Exacerbant à l'extrême la valeur connotative des objets, on aboutit au concept du *kitsch* qui est, selon la définition d'A. Moles, « une fonction sociale surajoutée à la fonction significative d'usage qui ne sert plus de support mais de prétexte ». « Les objets kitsch ne se laissent pas déduire rationnellement mais en y incorporant un degré élevé de gratuité et de jeu qui leur donne une sorte d'universalité hétérogène. »

Ces connotations peuvent être volontairement utilisées dans la création des produits. C'est la définition même du *stylisme*. Elles peuvent se retrouver aussi bien dans la morphologie de l'objet (dessin d'un simple robinet surchargé de dorures, ou d'un aspirateur aérodynamique) que dans la présentation même de ces produits. Celle des produits alimentaires en est un exemple typique : l'emploi abusif qui a été fait de certains colorants alimentaires n'avait d'autre souci que de superposer au produit une charge symbolique, la couleur intervenant comme renforcement de l'image du produit, soit coloration du produit lui-même (glace au citron plus jaune qu'une glace au citron naturel), soit coloration de l'emballage du produit (photographie de petits pois plus verts que nature).

A ce propos, on notera qu'il est actuellement très difficile de dissocier l'objet de son emballage (packaging) ou du graphisme qui s'y rattache. L'objet est appréhendé par l'usager soit directement (vision, préhension), soit indirectement par l'intermédiaire du graphisme. Il y a plusieurs possibilités :

— ou bien le graphisme accompagne directement l'objet pour fournir une information sur le produit lui-même, sur son contenu, son fonctionnement, sa composition, sa provenance ;

— ou bien le graphisme accompagne l'objet au moyen d'une fiche d'utilisation, fiche technique, fiche d'entretien ; en ce cas, le graphisme intervient pendant ou après l'achat ;

— ou bien le graphisme précède l'objet, il intervient avant l'achat, par la publicité du produit, la présentation sur catalogue photo, l'affiche, l'emballage, le conditionnement.

Les objets actuels sont pour la plupart des produits de l'industrie. Il semble difficile de les isoler totalement de leur contexte de production. L'objet transporte un message, et ce message n'est pas complètement sans lien avec l'entreprise qui a fabriqué le produit. L'objet, le produit communique l'image de l'entreprise, de l'industriel. On aborde ainsi le concept d'*image de firme*. Il suffira de dire ici que les produits sont alors considérés comme vecteurs dans la mise en place d'une stratégie de communication.

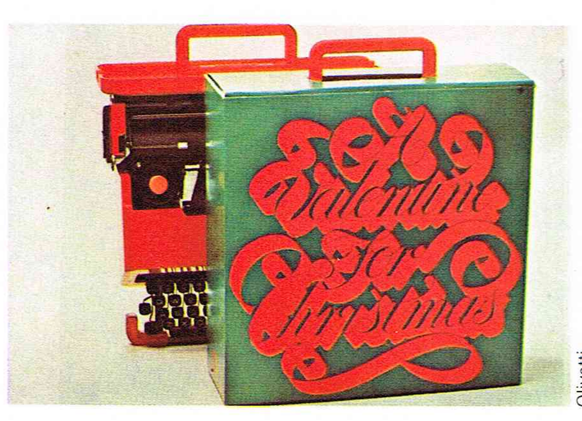
Actuellement, l'objet ou le produit, que ce soit dans sa conception (analyses préliminaires indispensables, relations psychologiques, sociales, écologiques ou historiques, relation produit-usager, relation ergonomique homme-machine) ou dans les moyens nécessaires à sa fabrication, à sa mise en œuvre ou encore à sa diffusion, est lié directement ou non à certaines disciplines scientifiques, et toujours à la technologie. Il s'y réfère ou il y fait appel.

## Objets, produits et économie

### La technologie et le produit, objet de consommation

#### La technologie et les besoins du marché

L'objet utile est largement influencé par le progrès technologique. Ainsi, par exemple, dans notre milieu familier, la machine à laver le linge ou la vaisselle, l'ouvre-boîtes ou le réveille-matin électronique, tout semble être l'expression d'une robotisation universelle de nos objets. Entre le moulin à café qui ronronne lorsqu'on appuie sur le bouton orange et l'appareil de grand-mère qu'il fallait faire tourner avec beaucoup d'énergie, en le serrant fort entre les genoux, il y a incontestablement un écart important dans l'effort physique à fournir. Plus que cela, cet exemple suggère la modification qui s'est produite dans l'expression et l'usage des objets qui nous entourent. Ce type de transformation est le résultat de rencontres entre la technologie et tout ce qui est utilisable par le « grand public ». Le pouvoir vendeur de notre société mercantile a su nous persuader d'acheter des produits plus modernes et plus pratiques. Les producteurs ont su exploiter les techniques nouvelles pour innover sans cesse dans le domaine du



Olivetti


B. Kuhn - TOP

▶ *A gauche, machine à écrire Valentine, conditionnement de Noël Olivetti. Il est actuellement difficile de dissocier l'objet de son emballage ou du graphisme qui s'y rattache. A droite, l'emploi de certains colorants alimentaires n'avait d'autre souci que de superposer au produit une charge symbolique, la couleur intervenant comme renforcement de l'image du produit.*

quotidien ; le dynamisme économique a su apporter la sophistication technique au rang du domestique.

Il est courant de porter des jugements sévères sur cette trop rapide évolution de notre cadre de vie et d'incriminer l'ampleur des progrès technologiques. Cette réflexion ressemble à celle des anciens Grecs qui attribuaient le vent au souffle d'Éole, ou bien à celle des enfants qui s'imaginent que le vent est produit par le mouvement des ailes du moulin. La technologie est une science des procédés, une étude des phénomènes ayant pour fin de les exploiter avec une intention créatrice, elle n'est pas le machinisme, pas plus que la médecine n'est la maladie. Si l'évolution des objets utilisables par le grand public est rapide, c'est parce que les produits sont soumis à des champs modificateurs intenses. Cette intensité dans la vie des produits, dans la transformation de leur forme, cette anamorphose des objets semble irrésistible, voire programmée. Essayons de savoir quels sont les facteurs autres que la technologie qui influencent le devenir des objets. Essentiellement, des objets sont fabriqués parce qu'ils sont utilisés, donc appréciés pour leur valeur d'usage ; à moins qu'ils ne soient recherchés pour leur valeur d'échange ou pour la « charge symbolique » dont ils sont porteurs (exemple des bijoux). Dans tous les cas, la réalisation industrielle d'objets n'est possible que si l'offre du producteur correspond à la demande de l'utilisateur. Ce qui paraît très simple à l'échelle d'un groupe semble plus compliqué au niveau d'une production de masse. Dans le commerce qui s'établit entre le vendeur et l'acheteur, il faut trouver le moyen d'évaluer la demande et faire en sorte que l'offre ne soit ni sous-estimée, ni trop importante. Ce sont les études et recherches commerciales qui essaient de mesurer et d'ajuster l'offre et la demande. La production industrielle, qui cherche à rentabiliser ses investissements, a des cadences difficiles à moduler en fonction des appétits des acquéreurs ; de plus, il est de l'intérêt du producteur de sortir des quantités importantes (*fig.* 2).

Le jeu économique impose sa règle : produire beaucoup au meilleur prix, réaliser le maximum de bénéfices pour amortir ses équipements et réinvestir au plus vite dans de nouvelles structures pour une production encore plus compétitive. Dans une telle ambiance de stimulation, les producteurs industriels ont besoin, en plus de l'évaluation de l'offre, de stimuler la demande.

***La production et le marketing***

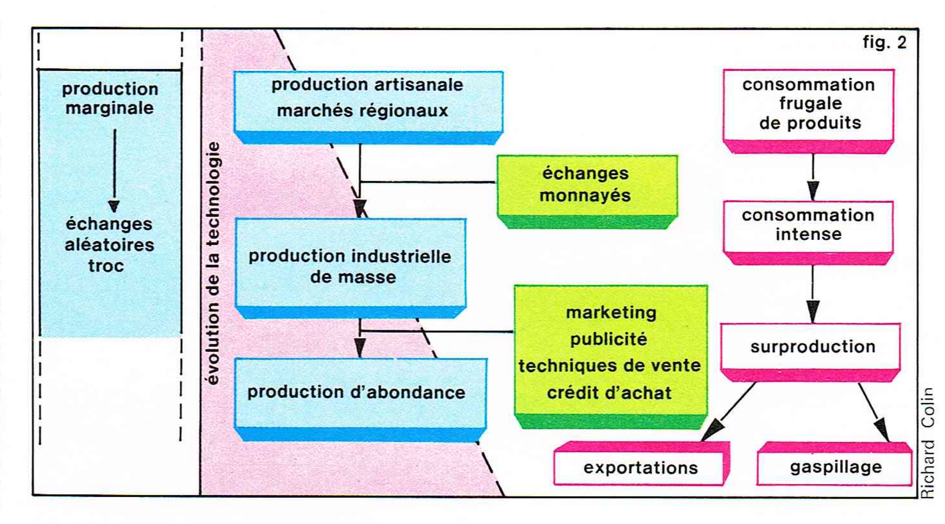
Comment exciter l'appétit du consommateur de produit ? D'abord, par la publicité, ensuite par la présentation de l'objet et par un bon service de vente, enfin par l'innovation. Le produit est donc cet objet qui se fabrique, se vend, s'achète, s'utilise, se consomme, puis se jette.

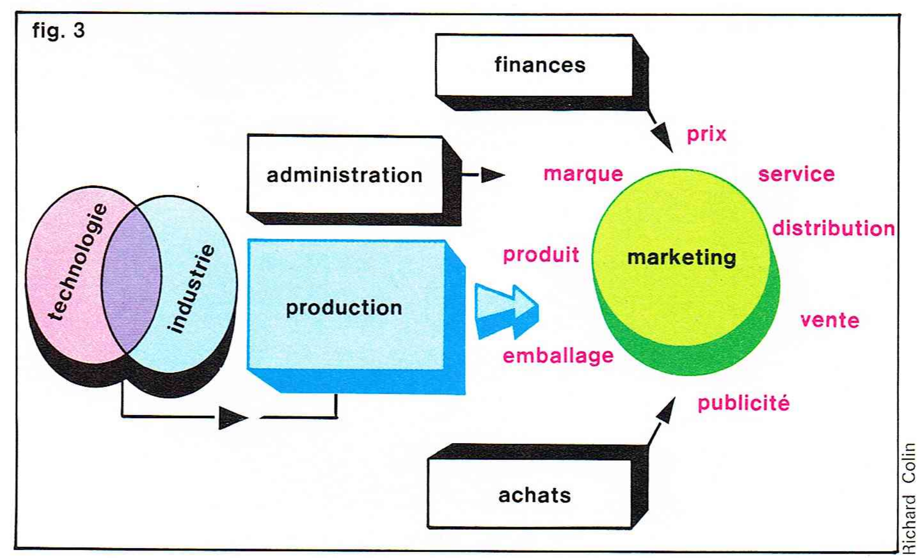
La détermination des attentes de l'utilisateur et l'évaluation du désir d'achat du consommateur sont le fait d'une activité bien spécifique, le « marketing », qui se veut la science du commerce et se donne pour but la satisfaction du consommateur devant les produits qu'il a acquis. (Ce terme de marketing, d'origine anglo-américaine, devrait être remplacé par celui de « marchéage » ou de « mercatique » si nous voulions lutter pour l'emploi correct de la langue française ; nous continuerons à l'employer ici car il est consacré par l'usage.)

Le marketing a donc pour objectif les collectivités humaines considérées du double point de vue de leur pouvoir d'achat et de leur manière d'en faire usage (*fig.* 3). De la connaissance du consommateur résultera la décision commerciale ; chaque décision commerciale sera en mesure d'influencer fortement la conception technique de tel produit et (ou bien encore) la technique de fabrication. Prenons un exemple : une fabrique habituée à produire une tondeuse à gazon très perfectionnée utilisant des techniques sophistiquées et de nombreuses possibilités d'utilisations annexes se verra contrainte d'abandonner ce modèle et de se contenter de produire de nouvelles tondeuses de jardin aux possibilités moindres mais dont les caractéristiques s'adaptent mieux à la demande du moment. Le coût à la production permettra un rapport qualité/prix concurrentiel, et le nouveau produit pourra faire l'objet d'une nouvelle campagne de lancement.

Les industriels sont demandeurs d'études de marché depuis que les gens du marketing leur ont montré que le comportement du client potentiel est bien souvent prévisible, rarement aléatoire. C'est une illustration du postulat sur lequel se fondent beaucoup de sciences sociales : « Chacun est différent, mais tout le monde est pareil. » Les études de marché cherchent à révéler le point de rencontre entre l'offre et la demande ; l'intention d'achat est théoriquement prévisible et devrait permettre d'ajuster le produit fabriqué au consommateur.

En explorant les besoins existants et les besoins latents du consommateur, en aidant à saisir plus rapidement et avec davantage de précision les transformations en cours, l'action du marketing permet une meilleure adéquation du produit. Par conséquent, un produit sera conçu en fonction de la clientèle à laquelle il s'adresse, il cherchera à toucher plus spécialement telle ou telle catégorie d'utilisateurs ; c'est la technique de segmentation. Il en résulte une grande diversité d'objets conçus pour des fonctions quasi identiques : par exemple, le *tableau* I nous propose quatre variantes d'aspirateurs-balais ; en dehors de leur apparence, voyons ce qui les différencie.



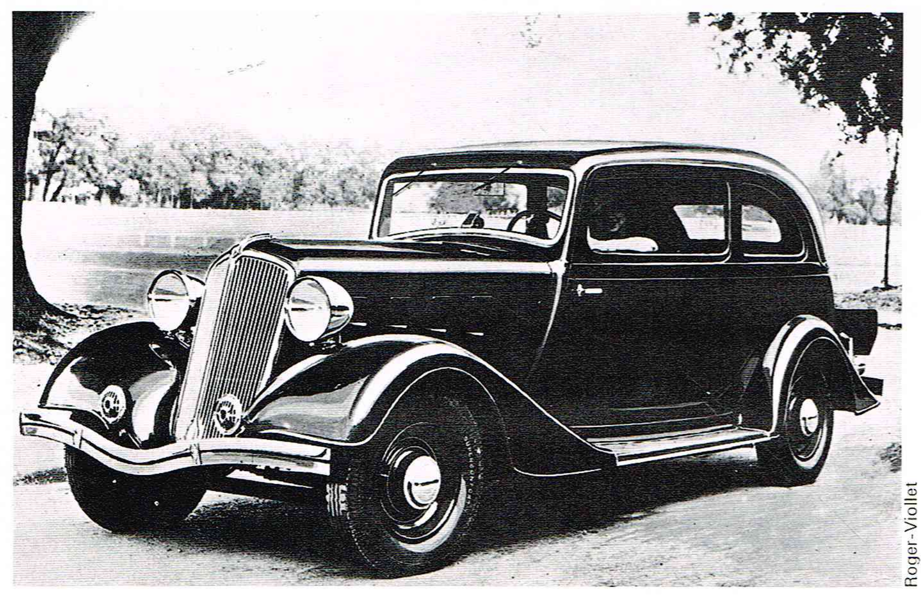




▲ ***Figure 2 : évolution de la production par rapport aux grandes étapes du développement économique.***
***Figure 3 : la place du marketing dans l'entreprise.***

▼ ***Tableau I : caractéristiques de quatre variantes d'aspirateurs.***

**Tableau I**
**Caractéristiques de quatre variantes d'aspirateurs**

| Numéro | Puissance (en watts) | Dépression (en mm Hg) | Débit (en l/mn) | Capacité sac poussière (en l/mn) | Prix (en F en juillet 1977) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 400 | 1 250 | 1 590 | 1 | 144 |
| 2 | 400 | 1 150 | 1 200 | 2,5 | 220 |
| 3 | 400 | 905 | 1 530 | 2,6 | 240 |
| 4 | 600 | 1 340 | 1 300 | 2 | 470 |



Roger-Viollet




A. Noguès - Sygma

▲ *Les progrès techniques, l'amélioration des performances, de nouvelles contraintes, entraînent une évolution notoire des modèles automobiles. Ces changements sont aussi une nécessité commerciale. En haut, Renault 21 ch 1933. En bas, Renault 17.*

Par son prix et son apparence, l'aspirateur nº 1 semble être destiné à des acheteurs peu fortunés ; à l'inverse, le produit nº 4 semble réservé à des clients prêts à payer plus cher. Il faut remarquer que l'appareil optimal n'existe pas ici. Le débit du moins cher est supérieur à celui du modèle nº 4. D'autre part, le prix ne justifie pas toujours les performances : l'aspirateur nº 2 a des performances moins bonnes que celles du nº 1, qui est pourtant nettement moins cher ; seuls le volume du sac et le dessin de la carrosserie justifient cette variante.

### Une technologie du commercial

L'action du marketing n'est plus envisageable sans une recherche de caractère scientifique. Les efforts étant centrés, en particulier, sur les relations du consommateur avec le produit, cela implique différents champs d'étude : mathématiques opérationnelles, analyse de l'usage, études ergonomiques, analyses de marché, symbolique de l'objet, désir d'achat, caractéristiques techniques, innovation, expression plastique du produit, conditionnement, etc. Cela explique l'intervention de chercheurs et de réalisateurs qui ont des « profils » très différents ; il n'est pas étonnant de trouver, au sein d'une équipe « hommes de marché », ingénieurs, psychologues, sociologues, sémiologues et autres spécialistes venant grossir le nombre d'intervenants autour de la définition d'un produit.

Mais il faut bien comprendre que les études de marketing ne fournissent aucune certitude sur la réalisation des prévisions de vente. Les prévisions commerciales ont toujours un certain pourcentage d'incertitude quant au but à atteindre ; les « instruments de mesure » se perfectionnent avec le temps mais ne suffisent pas à éviter des surprises, qui peuvent alimenter les sarcasmes des adversaires de cette « technologie du commercial ». La crédibilité du marketing n'est pas toujours acquise ; le contexte social, voire politique, d'une entreprise peut justifier une certaine méfiance face à des prévisions de marché qui pourraient être jugées peu compatibles avec la « conjoncture ».

### Le marketing instigateur

Le client n'est pas seulement le point d'arrivée du processus qui englobe achat, production, planification financière et commercialisation, il en devient aujourd'hui le point de départ. En effet, le marketing ne se contente plus d'influencer le produit existant mais, plus encore, donne l'idée initiale d'un produit qui doit naître. Ce nouveau produit sera conçu en fonction du consommateur, de ses besoins, de ses moyens, de ses désirs. En d'autres termes, « le marketing définit les objectifs à la façon d'un aimant qui sur une feuille de papier oriente la limaille vers les pôles ». Il semble en tout cas que les impératifs commerciaux définissent la vie du produit.

### L'obsolescence

Dans l'économie d'aujourd'hui, une dure loi régit la durée d'un objet commercial, c'est celle de l'obsolescence. C'est un phénomène économique qui dépasse le vieillissement technologique ou l'usure physique. Lorsqu'une organisation technique existante se révèle moins « rentable » qu'une nouvelle technique, lorsqu'un nouvel équipement permet une productivité plus élevée en abaissant les coûts de production, la structure technique ancienne devient obsolète. L'obsolescence est un phénomène de « destruction créatrice ». L'obsolescence « technique » est elle-même devenue obsolète par rapport à l'obsolescence « commerciale ». Ce phénomène, considéré comme une tendance il y a trente ans, est devenu règle générale dans l'économie d'aujourd'hui.

Bien qu'elle serve souvent d'alibi, on peut dire que la technologie est étrangère à ce processus. Il n'en reste pas moins que c'est le vieillissement artificiel et programmé des produits qui nous aura conduit au foisonnement d'objets dans notre environnement quotidien. Un changement fréquent des modèles est nécessaire pour que les fabricants puissent maintenir la production en augmentation continuelle.

Il n'est pas facile de vieillir artificiellement un produit, et pour cela de nouveaux acteurs doivent suppléer aux techniciens de production : en général, ce sont les stylistes industriels qui, par une manipulation habile des formes et une expression nouvelle des produits, excitent le désir d'achat.

### Le styling

Jusqu'à ces dernières années, la nouveauté d'un produit entraînait rarement une augmentation de sa qualité ; au contraire, il portait en lui, déjà, les signes de son vieillissement programmé ; par exemple, un poste de radio ayant une forme aérodynamique est un non-sens formel, mais en revanche une garantie que cet appareil se démodera rapidement, lorsqu'apparaîtra le poste de radio en forme de récepteur fictionniste vu dans le dernier film à grand succès.

Par l'intermédiaire de leurs créateurs stylistes, les objets deviennent un mode nouveau de communication sociale en même temps qu'un magnifique régénérateur de production. C'est la tendance du « styling » que de préférer les symboles de mode et de prestige aux qualités intrinsèques de chaque produit. Ainsi une préférence pour des imitations de matériaux fait naître l'impression d'une richesse imaginaire : on a parlé de la « misère chromée » des années 1950 où l'étalage du chrome sur la plupart des objets courants masquait leur pauvreté technique et formelle derrière un écran étincelant (*the wizard of gloss :* « la sorcellerie de l'éclat »).

### Marketing et innovation

La crise de l'énergie et des matières premières qui sévit depuis 1973 a entraîné une sorte de moralisation de la production face au gaspillage programmé de notre société dite d'abondance. Pour suppléer le luxe du « styling », le « marketing » a su promouvoir l'innovation, qui devient un objectif propre. Pour les fabricants

d'équipements, elle peut constituer le moyen de rendre obsolètes les équipements anciens chez leurs clients et donc d'élargir leur propre marché. Pour les consommateurs, le produit nouveau n'apparaît plus comme l'ancien produit remaquillé « new look », mais comme l'expression d'une innovation, d'une amélioration notoire.

L'adaptation à la demande du moment se conjugue avec une attitude active des gens de marché, qui cherchent à anticiper les développements futurs. Toute conception étroite ou trop mercantile (au premier degré) des attentes du consommateur est balayée ; il faut faire place à l'innovation. Face aux produits, le marketing évolue sans cesse entre deux pôles : la créativité et la rationalité. De nouveaux salons apparaissent : Salon de la créativité, Salon de l'innovation, que les gens de marché consomment à leur tour comme de délicieux produits.

Il faut reconnaître que certaines techniques ont fait merveille lorsqu'elles ont été prises en charge par les « hommes de marché » pour développer des produits nouveaux intéressant tout le monde. Par exemple, la biochimie et les enzymes des lessives, les techniques cryométriques et les aliments surgelés, la photochimie et les appareils de photo à développement instantané, et, encore plus récemment, le succès de l'électronique microscopique dans le domaine des calculatrices de poche et des montres électroniques à affichage digital.

De nombreux autres exemples peuvent être cités, du café lyophilisé aux textiles non froissables ; dans tous les cas, le dynamisme commercial a pu mettre des techniques de pointe au service de tous.

**La publicité des produits**

La publicité est destinée à lancer un produit nouveau ou bien à mieux faire connaître une gamme de produits déjà existants. Par exemple, voici un problème de publicité : au 1er mars, 20 % des ménagères connaissent un produit ; l'objectif est de porter ce taux à 40 % au 1er décembre de la même année. La publicité a pour mission de transmettre des informations et d'établir un contact étroit entre le produit et le « public-cible ». Le message publicitaire émis est en effet toujours destiné à une cible, c'est-à-dire aux consommateurs potentiels concernés par ce produit. En revanche, la « réclame » est propagée dans toutes les directions, sans objectifs, sans cible, elle ne fait pas partie d'une stratégie de communication prônée par les théoriciens de la publicité. La « pub » est aussi utilisée par les chefs d'entreprise comme moyen de lancer un produit coûte que coûte, même s'il est mal conçu.

Les moyens de communication entre l'entreprise et son « public-cible » englobent toutes les formes de publicité, depuis la publicité-media (affiches, spots de télévision, etc.) jusqu'à la publicité directe que représente l'emballage : *the silent salesman*, « le vendeur silencieux ». C'est l'emballage qui se laisse acheter dans les « self-services », et c'est lui qui participe au désir d'achat lorsque le produit est exposé dans une vitrine ou bien photographié dans un catalogue. L'emballage, superstructure de l'objet, est lui-même un produit de consommation.

***Le design industriel***

Le design industriel est une activité liée au développement de la technologie dans l'environnement et à l'évolution sociale. C'est aussi une profession récente perçue différemment selon l'observateur ; ses résultats, ses effets peuvent aussi être différents suivant le type d'approche du praticien designer. Depuis plusieurs années, le terme « design » a été employé abusivement. Il aura été successivement : un nouveau thème-slogan de publicité ; une rubrique vedette des journaux de mode ; un adjectif qualificatif synonyme de moderne, « in », dépouillé ; une nouvelle griffe garantissant ce bon goût dans l'audace ; un nouveau style contemporain, concurrent sérieux de l' « Empire » et du « Regency ».

En fait, le terme design a été usurpé par la mode au détriment de la crédibilité du design industriel, qui, lui, est concerné par une conception plus globale du produit industriel, même s'il échappe difficilement aux spéculations sur l'objet à des fins mercantiles (voir le styling).

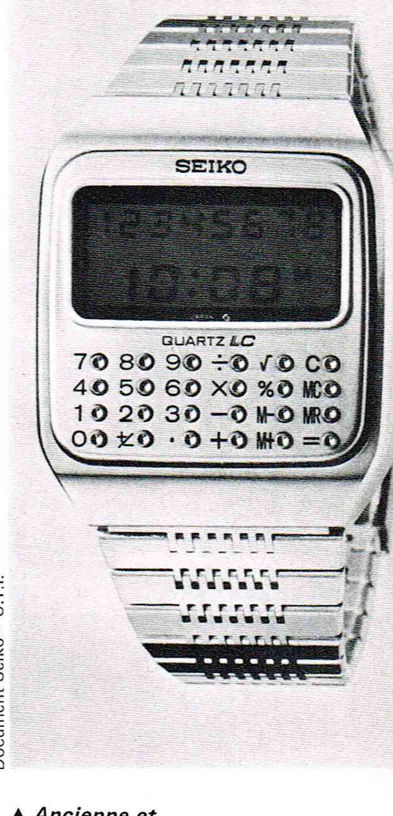
Une des ambitions du design est de dépasser le stade de la conception de l'objet isolé pour aborder les systèmes d'objets d'un environnement donné. Cela apparaît dans la définition officielle donnée au congrès de l'ICSID à Bruges en 1964 : « Le design industriel est une activité créatrice dont le but est de déterminer les qualités formelles des objets produits industriellement. Les qualités formelles ne se limitent pas aux caractéristiques extérieures mais concernent aussi les rapports de structures et de fonctions qui convertissent un système en une unité cohérente tant du point de vue du producteur que du consommateur. Le design embrasse tous les aspects de l'environnement humain qui sont conditionnés par la production industrielle. »

Cette définition est instructive. Est-elle parfaite ? Il semble difficile d'englober en quelques lignes toutes les facettes d'une activité. On pourrait compléter cette définition en ajoutant que le design est aussi une activité qui invente de nouveaux rapports dans la technosphère grâce à la manipulation critique des techniques et l'utilisation motivée de la plus grande partie possible des connaissances humaines.

Le champ d'applications du design industriel concerne les utilisateurs d'équipements et de services, les consommateurs de produits et enfin toute collectivité évoluant dans un environnement construit. La démarche propre au design a pour but la clarification de structures complexes, la lisibilité des formes, la cohérence et la diversité au sein des systèmes d'objets. Le designer a un rôle à jouer, il doit se faire l'interprète du « citoyen-consommateur ». D'après le designer français Roger Tallon, « le design ne se veut ni un art, ni un mode d'expression, à plus forte raison un style : c'est une démarche créative métho-



Roger-Viollet




Document Seiko - U.T.I.

▲ ***Ancienne et nouvelle calculatrices : résultat de la vulgarisation de l'électronique microscopique.***

### *Le Centre de création industrielle*

Inséré dans un centre culturel multidisciplinaire voué à l'illustration de la création au XXe siècle, le CCI a pour rôle de rendre compte de tout un aspect de cette création dont la finalité n'est pas l'œuvre d'art, mais dont la dimension culturelle et sociale caractérise les sociétés industrielles contemporaines : l'architecture, l'urbanisme, le design, les communications visuelles.

Institution originale que sa conception globale de la « création industrielle » et son option culturelle distinguent des « Design Centers » anglo-saxons, simples vitrines de la production, le CCI a été créé en 1969 au sein de l'Union centrale des arts décoratifs et intégré au Centre national d'art et de culture Georges-Pompidou en 1972.

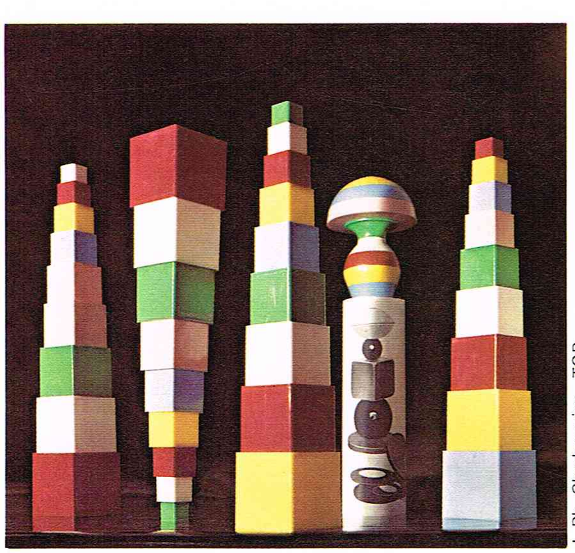
Il doit savoir s'adresser à la fois au grand public, à un public plus spécialisé de concepteurs ou de responsables de la production, et à ces médiateurs particuliers de la création industrielle que sont les collectivités publiques ou les administrations qui ont en charge l'organisation de l'environnement des Français.

◀ ***Définition du C. C. I. (Centre de création industrielle), intégré au Centre national d'art et de culture Georges-Pompidou.***



Document Braun

▲ *Influence du design industriel sur les appareils ménagers, tels que le robot de cuisine.*



J. Ph. Charbonnier - TOP

▶ *Les jouets pour enfants ont un caractère didactique plus marqué.*

▼ *Brosse à dent électrique : adéquation entre les performances techniques, la forme et l'usage.*

dique qui peut se généraliser à tous les problèmes de conception, une recherche de la cohérence, une tentative pour créer une grammaire simple de la forme. Aujourd'hui, le design se doit de participer à l'émancipation culturelle et sociale. A l'intérieur du système de production, il exerce des responsabilités plus ou moins larges suivant le degré de maturité de l'entreprise dans laquelle il se manifeste. »

L'histoire du design, nous l'avons vu, est liée à celle de la société industrielle. Le design est né de la volonté de combattre l'anarchie formelle engendrée par la production industrielle. Aujourd'hui, l'une de ses préoccupations majeures est de maîtriser toutes les implications d'un objet. La valeur d'usage « primaire » d'un objet est assortie d'une sorte de valeur d'usage « induite » qui fait de l'objet un support d'informations et un élément d'un système de communication sociale. Non seulement l'objet est rendu plus signifiant par sa forme, mais les « marques » qu'il porte sont l'expression de la fonctionnalité. L'objet possède une charge sémantique que le design moderne essaie de ne plus ignorer.

### La forme

L'expression gratuite, sectaire ou fantaisiste de la forme n'a plus de raison d'être, puisque nos connaissances sur la perception de la forme sont mieux établies. La psychologie de la forme *(Gestalttheorie)* nous a appris que nous voyons toute forme de manière globale, qu'il existe des lois perceptives qui nous font distinguer la figure du fond.

« La forme est une fonction de plusieurs variables, et non pas la somme de plusieurs éléments. » « Une partie dans un tout est autre chose que cette partie isolée dans un autre tout. » Le tout, l'unité formelle, nous paraît plus que la somme de ses éléments : par analogie, une mélodie est plus que l'enchaînement de différents sons ; un mot est plus qu'une succession de lettres. La théorie de la Gestalt se trouve appliquée dès qu'il s'agit de créer des relations et une concordance entre différents éléments d'un objet.

Comment implanter l'un par rapport à l'autre manettes, vis, séparations, joints, voyants lumineux, chiffres de réglages, etc. ? Existe-t-il dans ce domaine des règles esthétiques ? Les propriétés géométriques de la symétrie et les proportions du nombre d'or sont difficiles et délicates à manipuler à l'échelle d'un objet utilitaire. Si elles deviennent les seuls critères de structuration et d'ordonnancement, elles se raidissent sous forme de recette et débouchent inévitablement sur un style *a priori* dans l'expression plastique des objets.

### Les qualités formelles des objets

Il existe de nombreuses formes qui sont déterminées par des critères et paramètres rationnels ; on peut citer celle d'une hélice, celle d'un roulement à billes, celle d'un ballon. Mais il s'agit là plus d'une configuration géométrique, géospatiale, que d'une « forme » au sens où l'entendent les plasticiens. Il n'en reste pas moins que ces éléments techniques ont, de fait, une forme interprétée comme belle : « Quand une forme répond à un besoin, elle satisfait toute une part de notre esprit, la première, celle sans laquelle il n'y a pas d'autres satisfactions possibles », dit Le Corbusier.

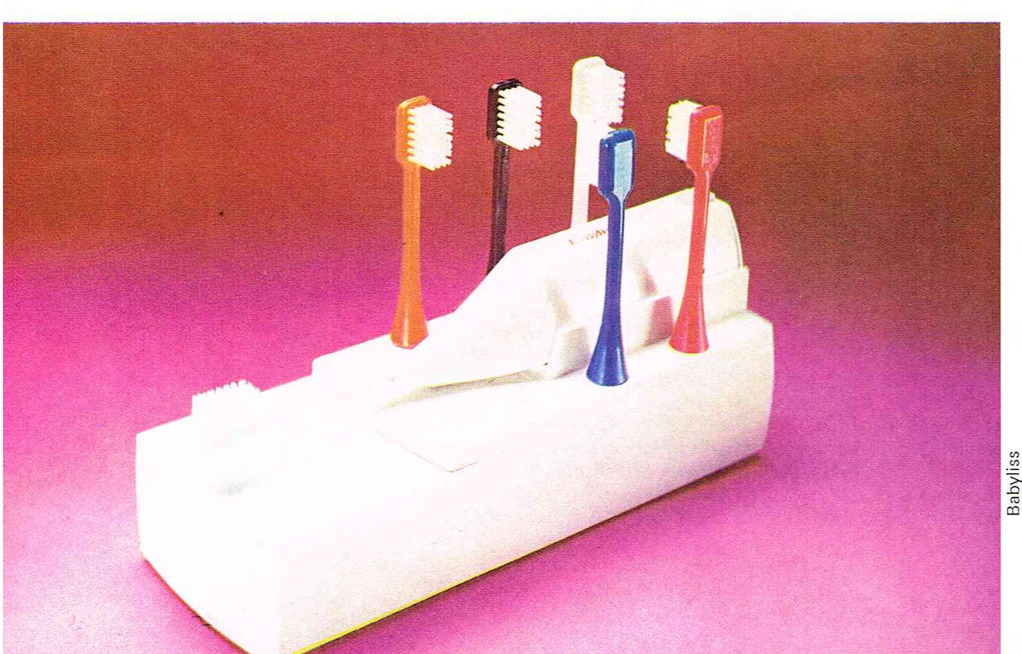
Les produits sont généralement destinés à un usage ; une ou plusieurs fonctions déterminent une certaine configuration de l'objet et lui donnent en même temps son originalité formelle.

Aux fonctions d'usage sont confrontées les contraintes de fabrication qui prédisposeront la forme finale ; par exemple, en fonction des procédés de fabrication, des ballons pourront présenter des qualités formelles différentes, bien que leur géométrie soit essentiellement sphérique. Les matériaux diffèrent, la taille aussi, mais c'est surtout la structure de construction qui impose la différenciation morphologique que l'on peut faire d'une balle à l'autre. La séparation de la sphère en différents éléments montre que les qualités formelles sont quelquefois indépendantes du désir de « décoration ».

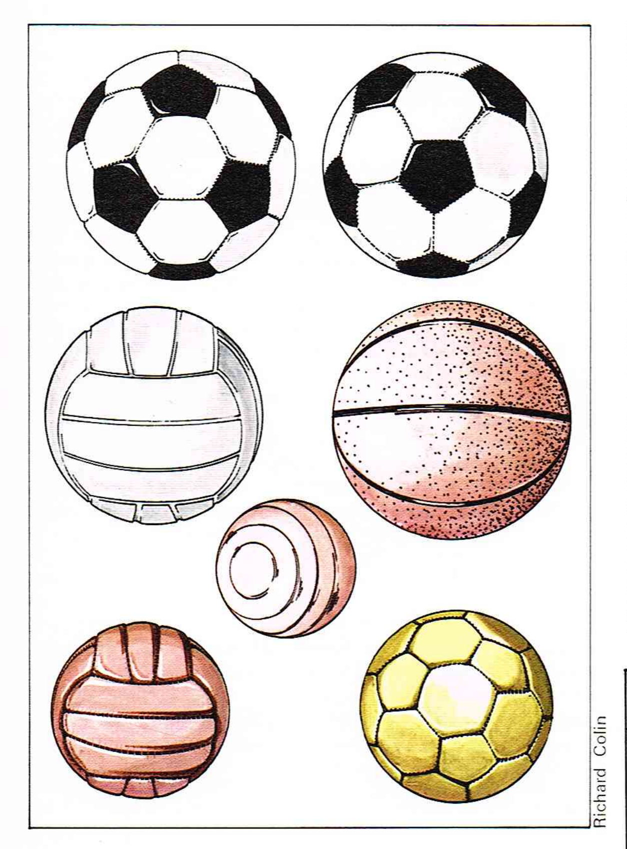
Les variations possibles dans la détermination d'une forme dépendent du champ des contraintes de fabrication et du rôle de sa structure dans la fonction à accomplir.

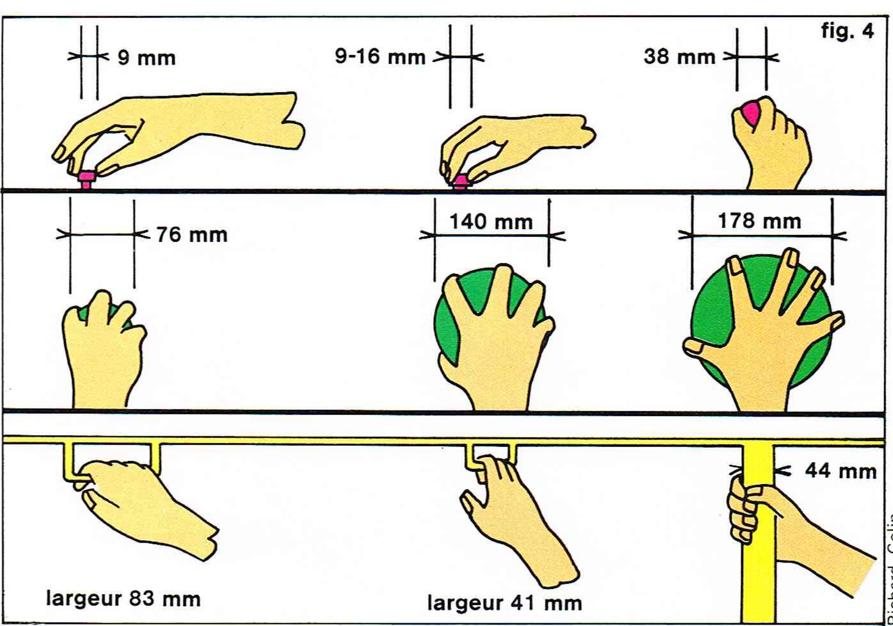
Dans la zone 1 de la *figure* 5, on peut raisonnablement penser que la technologie est nécessaire et suffisante pour déterminer la forme de l'objet.

Dans la zone 2, les propriétés formelles des objets produits industriellement rentrent dans le champ d'activité du designer.



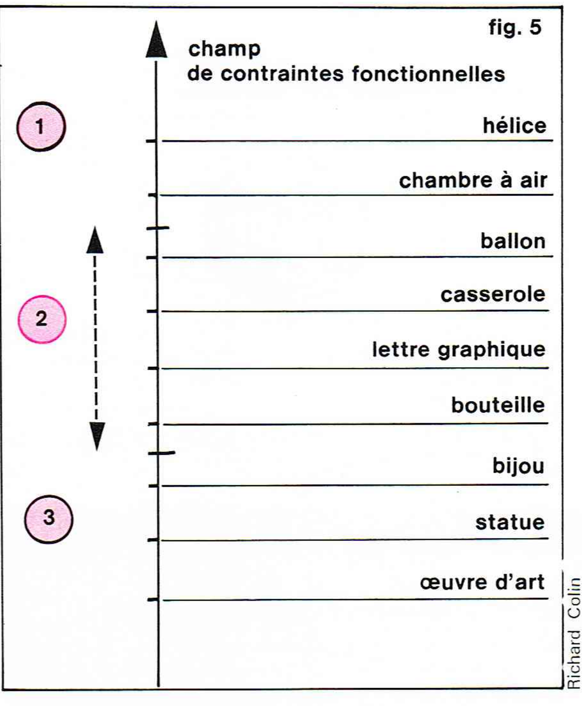
Babyliss



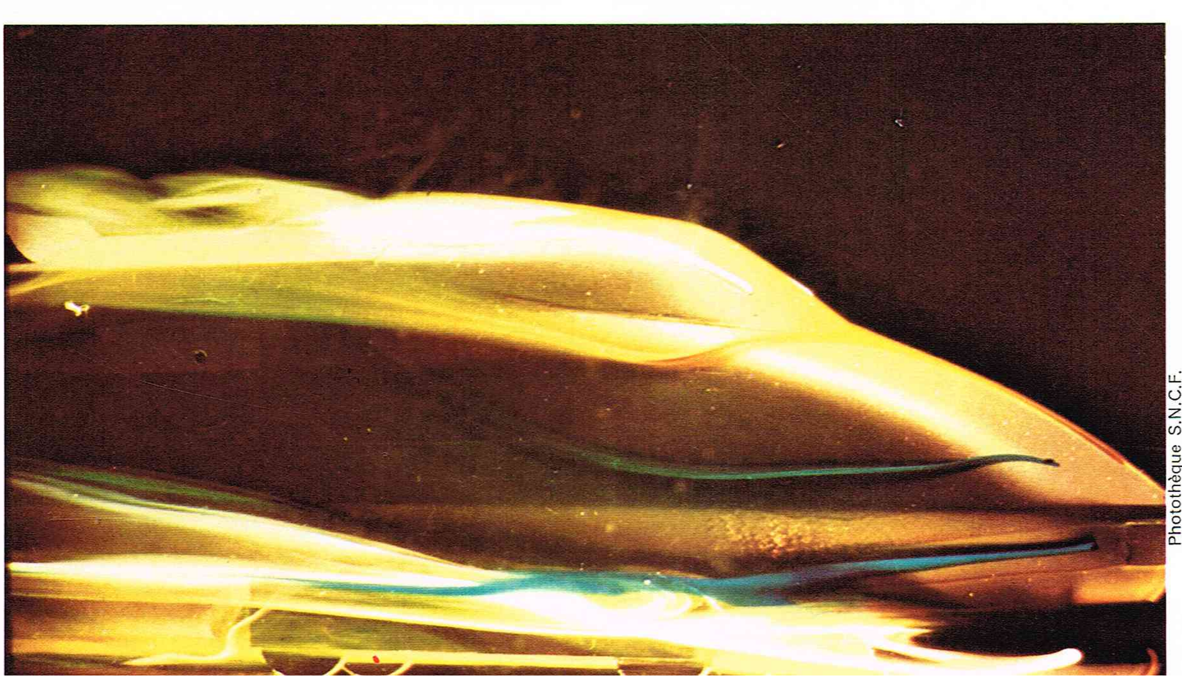







*◀▲ A gauche, selon sa structure de construction et ses matériaux, une même forme géométrique peut avoir des expressions différentes.*
*A droite, figure 4 : adaptation de la machine à l'homme. Les dimensions des commandes doivent tenir compte des limites normales de possibilité de prise en main (d'après E. Woodson, l'Adaptation de la machine à l'homme, Éditions d'organisation; actuellement épuisé; édition entièrement revue en été 1978).*

*◀ A gauche, bijoux : peu de contraintes fonctionnelles dans la définition de ces formes. Ce sont des « produits de luxe » à faible valeur d'usage et forte valeur symbolique.*
*A droite, figure 5 : échelle des contraintes fonctionnelles et liberté d'expression des formes.*

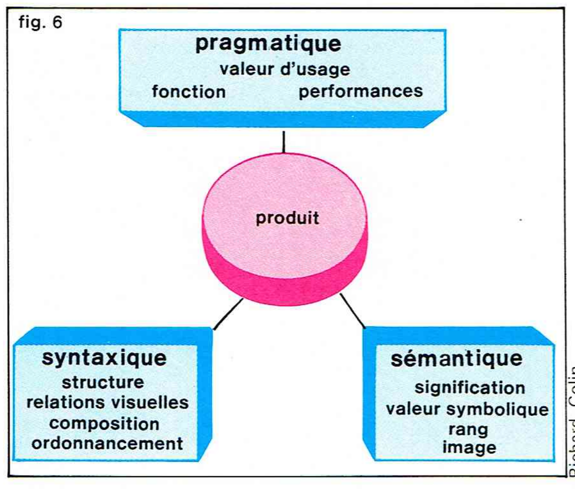



*◀ Le TGV (train à grande vitesse) en soufflerie : la liberté d'expression plastique pour une forme aérodynamique, est proportionnelle à l'incertitude sur la détermination scientifique de la géométrie optimale.*



Document Flambo

▲ *Exemple de mobilier de bureau fonctionnel.*




Richard Colin

▶ *Figure 6 : les trois dimensions analytiques de la théorie des signes appliquée à l'objet.*

Dans la zone 3, le processus créatif est indépendant de la maîtrise technologique. Le champ sémantique de l'objet et ses qualités plastiques l'emportent sur les contraintes de fabrication. La technologie n'est qu'un « matériau ».

**Les supports méthodologiques**

Le design se sert des méthodes et des connaissances d'autres disciplines scientifiques.

● La théorie des signes de Pierce permet de tirer des conclusions pratiques pour l'analyse dans le cadre de la méthodologie de design. Elles se rapportent d'une part aux qualités formelles, et d'autre part à des facteurs intéressant le marketing. On distingue ainsi trois dimensions analytiques : la dimension pragmatique, la dimension syntaxique, la dimension sémantique (*fig.* 6). Par exemple, un produit tel qu'une automobile sera analysé comme étant :

— sur le plan pragmatique : un moyen de transport ;
— sur le plan syntaxique : une carrosserie sur 4 roues ;
— sur le plan sémantique : un coursier racé, expression de la maîtrise technique ou une superbe voiture, objet de prestige, image d'un confort dominé et d'une sécurité sans problème, etc.

● La théorie de l'information trouve aussi de nombreuses applications et trouve quelquefois son prolongement dans le domaine syntaxique de la forme. Par exemple, Max Bense, professeur à l'université de Stuttgart, a défini la « mesure esthétique » comme étant le rapport suivant :

$$M = \frac{o}{c} = \frac{\text{ordonnancement}}{\text{complexité}}$$

L'ordonnancement, c'est la richesse de la composition (proportions, rythmes, matières, couleurs et autres relations décodables). La complexité est déterminée par le nombre d'éléments décomposables (segments, courbes, angles, rebroussements, inflexions, etc.).

Dans son livre *Théorie de l'information et Perception esthétique*, A. Moles développe de nombreuses notions utilisables par la méthodologie du design.

● Le design fait également appel à l'ergonomie (du grec : *ergon*, « travail », relation homme-machine, relation homme-travail). A la base de cette nouvelle discipline scientifique, il y a l'anthropométrie (étude des mensurations humaines). L'ergonomie étudie la physiologie, les performances motrices, les seuils de perception, en vue d'applications directes pour l'amélioration des conditions de travail ou pour la conception des produits.

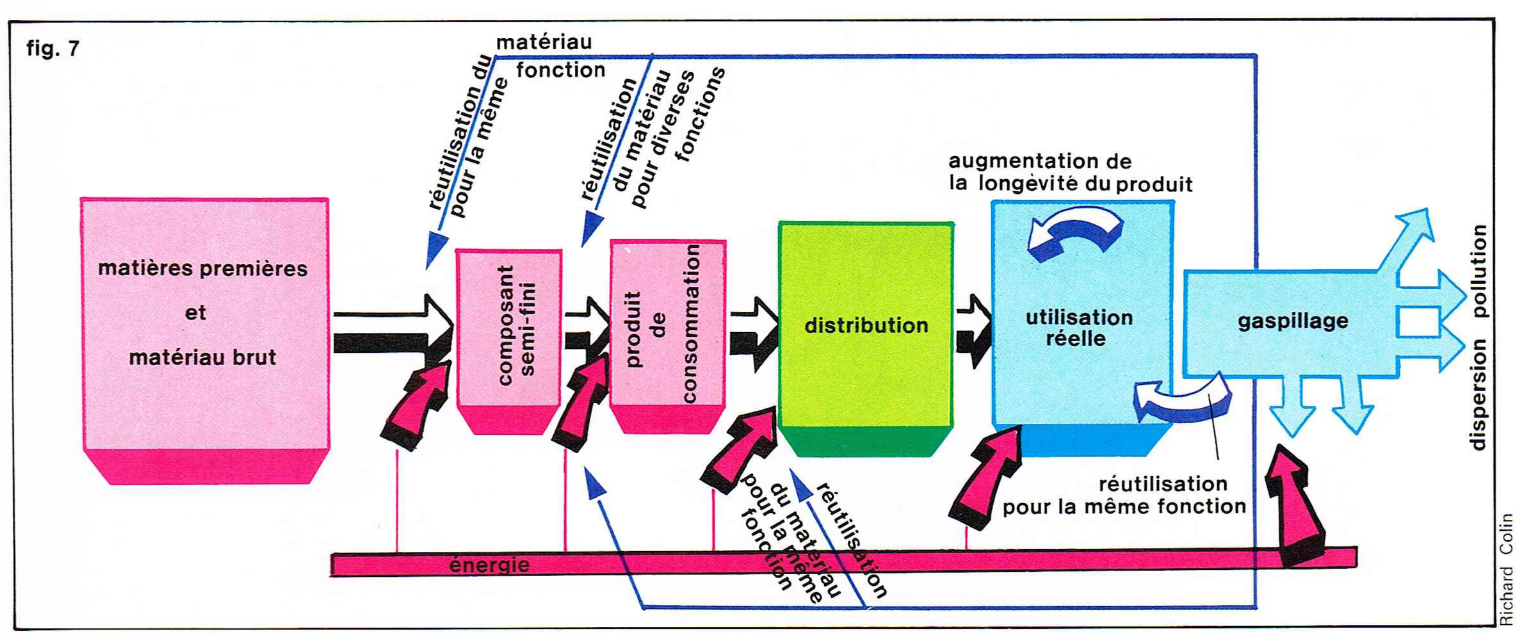
▼ *A gauche, lit Lattoflex ; la sobriété et l'efficacité conjuguées pour un meilleur confort physiologique. A droite, l'élément de base, expression d'une nouvelle technique de la structure souple.*



Lattoflex



Lattoflex




▲ *Figure 7 : cycle possible d'utilisation des matériaux et des produits dans l'économie de production.*

***Le produit et la technologie dans l'environnement***

Le produit peut être considéré sous trois aspects : l'aspect économique : la production et la vente ; l'aspect social et humain : la consommation, l'information ; l'aspect écologique : les déchets et les nuisances. L'aspect économique de la production et de la vente a été évoqué par le biais de l'action du marketing et de la publicité. Pour le second aspect, il faut préciser que, pour échapper à la subordination commerciale, on doit chercher et parvenir à équilibrer le rapport producteur-consommateur. L'objet, le produit devrait pouvoir répondre aux besoins sociaux. La qualité des produits dépend donc d'une meilleure information du public qui les consomme : ce peut être, par exemple, grâce à l'Agence pour l'étiquetage informatif sur les produits, qui joue un rôle pilote dans ce domaine, et par le jeu de la concurrence. Nombreuses sont les firmes qui s'engagent à donner maintenant des informations précises et fiables sur les produits qu'elles proposent. La qualité des produits dépend aussi d'une meilleure expression de la demande à travers les organisations de consommateurs. Allant dans le sens d'une évolution positive, le désir de culture et de loisir tend à se substituer à notre consommation excessive d'objets et de symboles. La chaîne « haute fidélité » est plus sobre dans son aspect, mais le son qui en sort est de meilleure qualité.

**Utilité des produits**

La production industrielle a bouleversé notre société par la puissance avec laquelle elle a modifié notre cadre de vie, notre comportement et notre niveau de communication sociale et culturelle. Le progrès technologique se répercute tôt ou tard sur le produit industrialisé, donc sur la société consommatrice ; par exemple, l'application du transistor au produit industriel a permis d' « inonder » le monde de postes récepteurs de faible coût. Dans les pays économiquement sous-développés, le transistor est ainsi devenu un réel instrument politique de communication avec la masse, on pourrait donc dire objectivement un instrument d'émancipation.

**Nuisances des produits**

Plutôt que pour sa valeur utilitaire, le produit peut encore être considéré d'un point de vue écologique : pour sa production, il nécessite matières premières et énergie ; après consommation, c'est un déchet et souvent une nuisance pour l'environnement. Potentiellement, tout produit est un futur déchet, et, dans un monde économique surproductif, cela mérite que l'on s'y intéresse de plus près (*fig.* 7).

Devant l'ampleur du phénomène des pollutions et nuisances, et compte tenu des restrictions énergétiques d'aujourd'hui, les responsables nationaux incitent les chercheurs et industriels à proposer des solutions valables. L'équilibre des milieux naturels et la qualité de notre environnement nécessitent autre chose qu'une économie de surproduction. Il est possible de fabriquer moins de produits à condition que les usagers acceptent eux-mêmes de consommer moins. Technologiquement parlant, la durée de vie moyenne d'un produit peut être très longue : une automobile peut durer vingt ans et un réfrigérateur encore plus longtemps ; jusqu'à maintenant, une voiture ferroviaire vivait en moyenne quarante ans.

Parallèlement, on peut très bien concevoir des produits jetables, conçus spécialement pour avoir une courte vie ; dès lors, il faut concevoir un « beau déchet » et non plus seulement un bel objet. Ce type de produit doit être réellement biodégradable ou recyclable, de même que le génie médical utilise couramment des fils de suture qui, au bout du temps nécessaire, s'éliminent d'eux-mêmes dans l'organisme. Arrivera-t-on au stade où la destruction d'un produit participera à la régénérescence de l'environnement et non à sa dégradation ?

**Le produit, demain**

Historiquement, le transport aéronautique n'a jamais été promu par une compagnie ferroviaire, pas plus que les montres électroniques ne sont le fait d'horlogers traditionnels. Les produits de demain seront-ils le résultat de procédés aujourd'hui révolutionnaires, qui seraient vulgarisés ? Les techniques de pointe seront de moins en moins chères, les structures considérablement réduites et allégées, les fonctionnements dix fois plus fiables, les consommations d'énergie dix fois plus faibles. On est donc en droit d'espérer que toutes ces gammes de procédés techniques seront positivement connectées ; il pourra en résulter des interférences créatrices remettant en cause les habitudes séculaires que nous avons vis-à-vis des produits.

La technologie peut œuvrer pour la qualité de notre environnement, elle est de toute façon au service de nos choix.

## BIBLIOGRAPHIE

BARTHES R., *Mythologies*, Seuil, 1957. - BAUDRILLARD J., *Pour une critique de l'économie politique du signe*, Gallimard, 1972. - COLDER R., *l'Homme et ses techniques*, Payot. - DORFLÈS G., *Introduction à l'industrial design*, Casterman. - HUISMAN D., PATRIX G., *l'Esthétique industrielle*, Presses universitaires de France. - LEROI-GOURHAN A., *Milieu et Techniques*, Albin Michel. - MOLES A., *Théorie de l'information et Perception esthétique*, Casterman, 1972. - MOLES A., *Psychologie du kitsch*, Denoël-Gonthier. - NOBLER J., *Design*, Stock-Chêne. - PEVSNER N., *les Sources de l'architecture moderne et du design*, la Connaissance s.a. - WOODSON A., *l'Adaptation de la machine à l'homme*, les Éditions d'organisation, 1959. - *L'Objet créé par l'homme*, Bibliothèque de synthèses, 1968.

▶ *Montre du XVIII^e^ siècle.*



R. Guillemot - TOP

# HORLOGERIE

## *Les cycles universels*

Il est raisonnable de supposer que la notion d'une durée de temps constante séparant les « passages » successifs du Soleil s'est imposée au plus ancien des hommes de la préhistoire. On peut imaginer qu'il eut également la possibilité de lier cet instant particulier à la direction d'une ombre portée. Néanmoins, il est plus que probable que le découpage de ce temps quotidiennement écoulé en séquences repérables fut le fait de l'*Homo sapiens* plutôt que de l'*Homo habilis* qu'un mode de vie très instinctif devait, par ailleurs, rendre particulièrement réceptif aux effets des rythmes universels.

C'est probablement l'agriculture, nécessaire aux peuples sédentarisés, qui imposa le repérage précis des cycles qui déterminent le jour, le mois, l'année. Ces cycles, définis dans leur corrélation avec la situation ou l'allure particulière d'un astre dans le ciel, n'impliquaient pas, pour être définis, une connaissance très précise du mouvement des astres.

En Occident, c'est depuis le XVII^e siècle seulement que nous savons que la durée d'un jour correspond à la rotation complète de la Terre sur son axe, celle d'un mois à la révolution de la Lune autour de la Terre, et celle d'une année à une révolution complète de la Terre autour du Soleil.

Au cours des millénaires, différentes civilisations ont tenté de coordonner ces cycles pour aboutir à l'établissement d'un calendrier précis. La difficulté réside en effet en ce que la division de l'année en mois et du mois en jours n'aboutit pas à des nombres entiers : la durée de la révolution de la Terre autour du Soleil est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 46 secondes. La révolution complète de la Lune autour de la Terre correspond à une durée légèrement supérieure à 29 jours 1/2. Il s'ensuit qu'une année comporte environ 12 mois lunaires et un tiers.

L'établissement du calendrier répondait à une nécessité vitale, celle de labourer, d'ensemencer la terre et de récolter à date fixe de manière que le rendement fût maximal. L'efficacité du calendrier tenait donc avant tout à sa constance dans le temps, et en particulier à la correspondance précise entre la durée de l'année et celle du cycle des quatre saisons.

### *Vers un calendrier idéal*

L'observation du ciel ayant mis en évidence la concordance entre le mouvement des astres et la succession des saisons, il vint à l'esprit de l'homme que ces astres correspondaient à des manifestations divines et que ces divinités étaient garantes de l'ordre des saisons. L'évolution du calendrier va donc être soumise à des impératifs d'ordre à la fois scientifique et religieux, ces derniers n'étant pas forcément liés d'ailleurs à la présence d'êtres mythiques dans le ciel. C'est ainsi que les calendriers juifs et chrétiens, tenant compte du repos de Dieu le septième jour de la création, n'envisageront jamais la possibilité d'adopter des semaines comportant un nombre de jours différent de sept.

Sur ces bases agraires et religieuses, les Sumériens, 3 000 ans avant l'ère chrétienne, devaient réaliser le premier calendrier véritablement pratique. De ce calendrier, qui n'est pas parvenu jusqu'à nous, on peut avoir une idée à travers les documents que nous ont transmis leurs successeurs, les Babyloniens. Selon toute vraisemblance, le calendrier sumérien était fondé sur une année de 12 mois lunaires de 30 jours chacun. Une méthode de correction que nous ne connaissons pas devait rattraper régulièrement le décalage qui s'ensuivait.

Les Babyloniens, quant à eux, avaient résolu le problème en faisant alterner des mois de 30 et de 29 jours, ce qui permettait une meilleure correspondance du calendrier et des cycles lunaires, tandis qu'un treizième mois de 30 jours était introduit une année sur trois. Ce système de correction fut appliqué pendant quinze siècles environ. Aux environs du V^e siècle avant l'ère chrétienne, les prêtres babyloniens responsables de la tenue du calendrier allaient faire une découverte importante : ils s'aperçurent, en effet, que, tous les 19 ans, la Lune et le Soleil occupaient la même place relative dans le ciel. Cette correspondance entre les cycles solaire et lunaire permettait dès lors de préciser que 19 années solaires sont sensiblement équivalentes à 235 mois lunaires. La modification de calendrier qui s'ensuivit consista à accorder un mois supplémentaire à sept années choisies dans le cycle de 19 ans.

Autre civilisation agraire, la civilisation égyptienne avait besoin d'un calendrier pratique, situant en particulier de manière précise la date de la crue du Nil qui, chaque année, vient déposer sur les terres exploitées un limon fertilisant. Une observation minutieuse du ciel permit de constater que ce débordement du Nil intervient régulièrement quelques jours après l'apparition de Sirius, qui n'est pas visible jusque-là parce qu'il est situé du même côté que le Soleil par rapport à la ligne d'horizon. On fit donc de cet événement le point de départ de l'année égyptienne. Au demeurant, cette dernière était composée de 12 mois de 30 jours, et le rattrapage se faisait en introduisant chaque année 5 jours complémentaires consacrés à des fêtes religieuses et n'intervenant pas en conséquence au niveau de la vie agricole. Néanmoins, un décalage subsiste que, vers 240 avant

notre ère, Ptolémée Évergète propose de rattraper en introduisant tous les quatre ans un sixième jour. Cette modification ne reçoit pas l'assentiment des prêtres qui feignent tout simplement de l'ignorer.

Lors du voyage en Égypte qui devait le conduire auprès de Cléopâtre, César eut l'occasion de se familiariser avec le calendrier égyptien. Cela lui fut d'un précieux secours lorsque, accédant au pouvoir, il se trouva dans l'obligation de réformer le calendrier romain. Ce dernier, avec son année lunaire de 355 jours, présentait de réelles difficultés de correction ; de plus, il se prêtait aux interprétations des politiciens qui n'hésitaient pas à introduire des corrections hasardeuses pour prolonger leurs mandats.

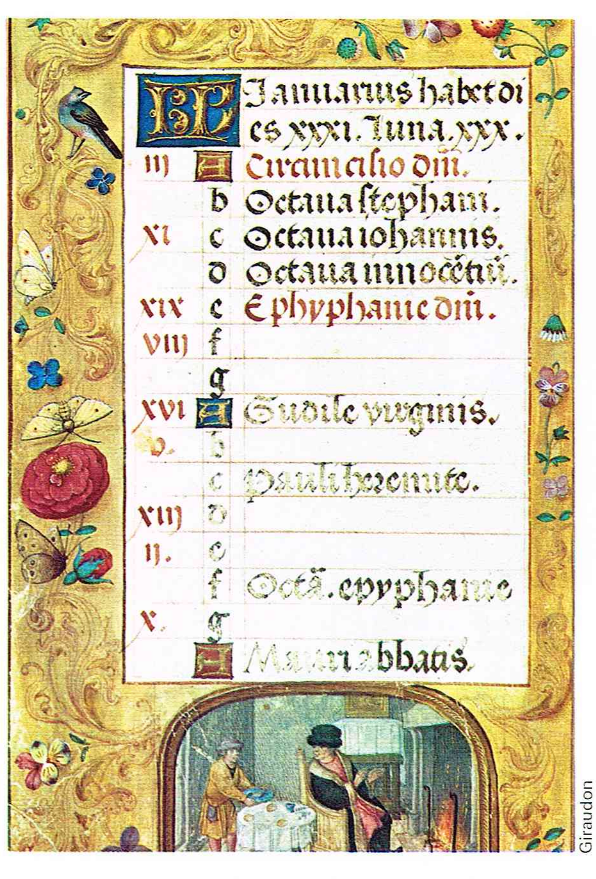
Lorsque Jules César prit le pouvoir, le calendrier romain présentait ainsi un décalage de plus de 60 jours par rapport aux saisons. Il décréta donc que l'année 46 avant l'ère chrétienne aurait 445 jours, 23 jours venant s'insérer après le mois de février et 67 jours après le mois de novembre. Grâce à cet artifice, le calendrier romain put correspondre à nouveau au déroulement des saisons. De manière à éviter tout nouveau « glissement », César décréta que, tous les 4 ans, le mois de février aurait 29 jours, instaurant ainsi l'usage de l'année bissextile.

Ainsi défini, le calendrier julien, survivant à la chute de l'Empire romain, demeura en usage dans les pays d'Europe pendant seize siècles. Il lui faudra pendant ce temps-là s'accommoder des exigences de la religion chrétienne ; celle-ci, héritière de l'écriture sainte hébraïque, avait dû, en même temps, adopter certains éléments du calendrier israélite qui, sur la base du cycle luni-solaire de tradition babylonienne, avait, conformément au livre de la Genèse, adopté la semaine de sept jours, et les célébrations des fêtes à des dates variables, telle la fête de Pâques dont le concile de Nicée, en 325, a fixé la date au premier dimanche de la pleine lune qui vient après l'équinoxe du 21 mars. A côté de cela, l'année liturgique chrétienne prévoyait que certaines fêtes, tels Noël et la Toussaint, devaient se présenter à dates fixes.

Très pratique, le calendrier julien n'en acceptait pas moins un décalage de 1 jour tous les 128 ans. Ainsi les grandes fêtes religieuses se trouvaient-elles peu à peu rejetées hors de leurs saisons d'origine. Au XVe siècle, le calendrier accusait un retard de dix jours par rapport à la course du Soleil. Le pape Grégoire XII décréta donc en 1582 que cette année-là serait réduite de dix jours. Par ailleurs, il fit supprimer trois années bissextiles tous les cent ans. Ainsi, l'erreur du calendrier grégorien se trouve-t-elle réduite à un jour tous les 3 323 ans.

L'adoption de cette réforme, qui fut immédiate dans les pays catholiques, ne devait prendre effet que beaucoup plus tard dans les pays protestants comme l'Angleterre qui ne devait l'employer qu'en 1752.

Pour ce qui concerne la religion orthodoxe, le calendrier utilisé est encore le calendrier julien. L'adoption en Russie devenue soviétique du calendrier grégorien en 1918,



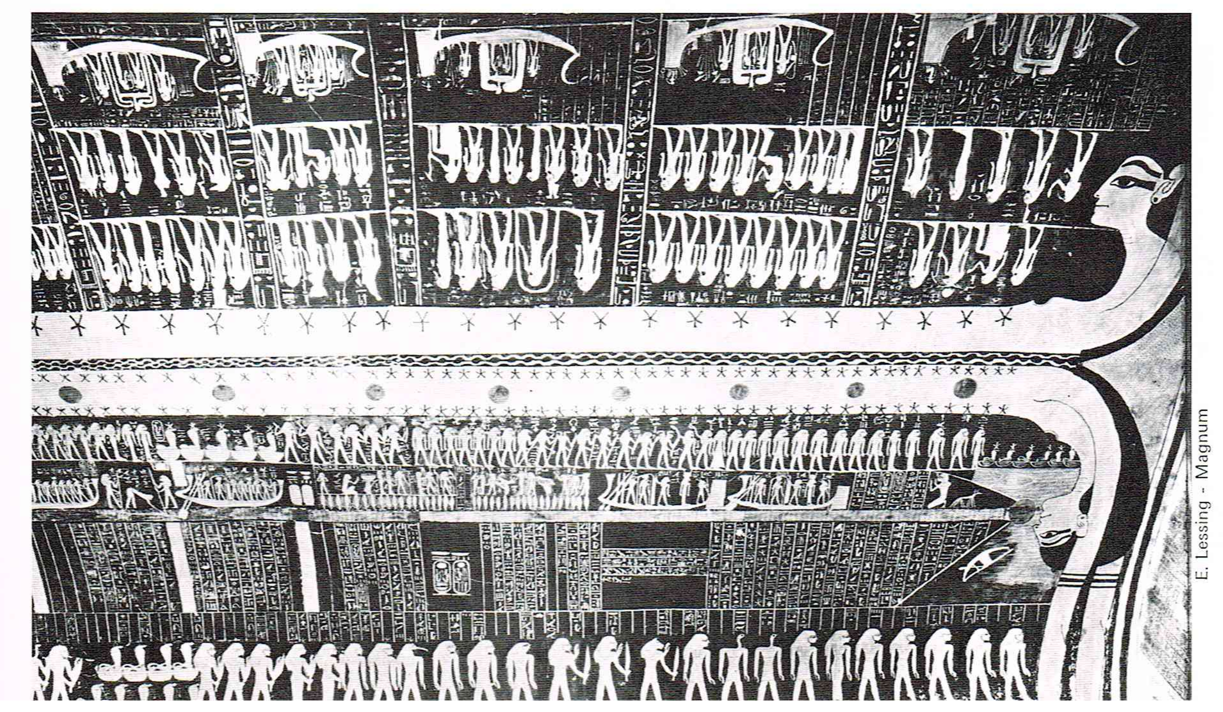
Giraudon

◀ *Calendrier julien ; survivant à la chute de l'Empire romain, il demeurera en usage dans les pays d'Europe pendant seize siècles.*

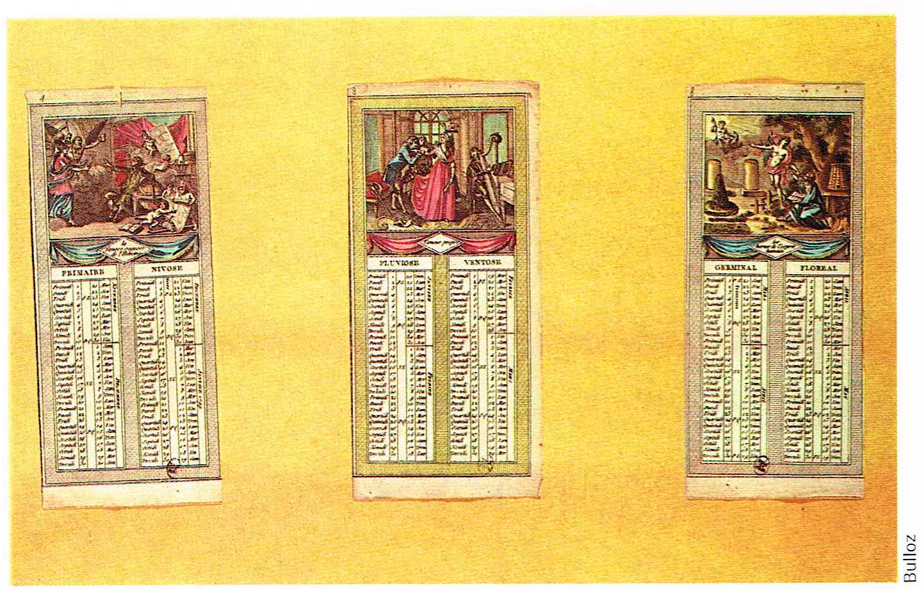
annee qui fut à cette occasion écourtée de 13 jours, eut pour effet immédiat de reporter la célébration de la « Révolution d'octobre » au 7 novembre.

Les musulmans, quant à eux, utilisent toujours le calendrier luni-solaire babylonien, mais le fait de lui avoir supprimé le principe des mois complémentaires le ramène à un calendrier purement lunaire avec 6 mois de 29 jours et 6 mois de 30 jours.

Une proposition pour un calendrier mondial a été déposée il y a quelques années au Conseil social et économique de l'O. N. U. ; il a été élaboré par Elizabeth Achelis. L'année comporte 4 trimestres de 91 jours chacun avec un mois de 31 jours et les deux autres de 30 jours. Chaque trimestre compte 13 semaines, et la somme des 4 trimestres donne au total 364 jours. Un jour supplémentaire est prévu au mois de décembre, qu'Elizabeth Achelis a appelé le « jour du monde ». Par ailleurs, chaque année bissextile, le mois de juin compte un jour supplémentaire. Ce calendrier « sans faille » a


E. Lessing - Magnum

◀ *Sur cette table du temps égyptienne, Nout, déesse du ciel s'allonge entre les divinités du jour et de la nuit.*


Bulloz

▲ *Calendrier révolutionnaire.*

cependant soulevé des objections d'ordre religieux dans la mesure où le « jour du monde » viendrait s'intercaler dans l'ordonnancement régulier des cycles de 7 jours imposés par le quatrième commandement.

## Les rythmes de la vie

Le cycle de vingt-quatre heures joue un rôle primordial et, avec une plus ou moins grande facilité d'adaptation, l'ensemble des êtres vivants s'y conforme. Cependant, l'atténuation de l'instinct chez l'homme rend moins efficace son système d'horlogerie biologique, et, si l'on peut constater que les cycles de veille et de sommeil, en particulier, sont fondés sur le rythme de vingt-quatre heures, nous savons par expérience que cette régularité n'est que faiblement innée dans la mesure où l'enfant ne l'acquiert que progressivement à l'imitation de ses parents. Malgré tout, il est possible de vérifier qu'un dérèglement de l'horloge humaine, comme celui qu'occasionne l'usage sur une longue distance de moyens de transport à très grande vitesse, tel l'avion à réaction, entraîne des perturbations physiologiques et psychologiques sérieuses. De la même manière, il est possible de vérifier que, privé d'instruments susceptibles de lui indiquer si, sur terre, il fait jour ou bien nuit, le spéléologue continuera néanmoins à respecter un rythme voisin de vingt-quatre heures.

Nous savons désormais que, chez les animaux, certaines glandes à sécrétion hormonales jouent le rôle d' « horloge centrale ». Pour les mammifères, c'est en particulier la glande pinéale — dont le schéma de sécrétion, régularisé par la lumière, adopte un rythme de vingt-quatre heures — qui joue le rôle d'horloge et même de synchroniseur.

Si la lumière chez l'animal n'agit pas directement sur les cellules, il n'en est pas de même pour les plantes qui, au niveau de l'assimilation chlorophyllienne, par exemple, sont capables d'absorber certaines radiations des rayons lumineux et de transformer leur énergie. Celle des radiations rouges va permettre ainsi au protoplasma d'opérer les synthèses endothermiques qui élaborent pour la plante des molécules complexes d'aliments carbonés. Ainsi, dans le domaine végétal, le rythme de vingt-quatre heures joue sur le processus même de la nutrition, mais on peut également le voir se manifester d'une manière analogue à celle qui règle les alternances de veille et de sommeil dans le monde animal, au niveau de l'ouverture et de la fermeture des fleurs, avec cette particularité subtile que les phénomènes qui se produisent à des moments précis ne suivent pas forcément l'alternance des jours et des nuits, et que les horaires ne sont pas les mêmes pour chaque fleur.

Par exemple, la fleur du volubilis s'ouvre à trois heures du matin, celle du pissenlit de Californie à six heures, celle du nénuphar blanc à sept heures, celle du laiteron épineux à neuf heures, etc., tandis que se ferment à treize heures la fleur de l'œillet prolifère, à quatorze heures la fleur du mouron rouge, à seize heures la fleur du petit liseron, etc. Et ainsi tout au long de la journée, si bien qu'on a pu réaliser dans les jardins européens du XIX$^{e}$ siècle des horloges florales où, pour lire l'heure, il suffisait de repérer quelle fleur venait d'éclore ou bien de se fermer. Quelques horloges florales existent encore dans le monde, et nous pouvons citer en France celles de Besançon et du jardin d'acclimatation de Paris.

Pourtant, le cycle des vingt-quatre heures chez les plantes est sujet au déréglage, et si l'on peut parler d' « horloge biologique » interne à la plante, il faut également admettre l'existence d'un « synchroniseur » susceptible de réajuster les décalages horaires lorsque ceux-ci deviennent trop importants. On a pu mettre en évidence le fait que le synchroniseur fonctionne sous l'influence d'éléments extérieurs tels que la lumière et la température.

Le rôle du cycle lunaire vis-à-vis des rythmes de la vie est lui aussi incontestable. On ne saurait discuter les effets de la Lune sur le régime des marées et, par voie de conséquence, sur la faune marine qui la subit. On peut même affirmer avec Alexis Carrel que, pour les habitants du littoral, « le temps lunaire est plus important que le temps solaire. Les modes de l'existence, les moments du sommeil et des repos sont déterminés par le rythme des marées. Le temps humain se place alors dans le cadre des variations quotidiennes du niveau de la mer. » Et là, il ne faut évidemment voir que le seul phénomène d'accoutumance. En dehors sans doute de toute influence directe des astres, se situent d'ailleurs certains rythmes vitaux, comme le rythme pulmonaire ou le rythme cardiaque, qui semblent bien fonctionner d'une manière autonome et posséder un régulateur indépendant du reste du corps. Certaines expériences ont en effet permis de constater que, parmi les cellules prélevées sur un cœur vivant et placées dans un milieu nutritif approprié, un certain nombre continuent à palpiter sans qu'aucune excitation extérieure intervienne et finissent même par imprimer leur rythme aux cellules qui, primitivement, étaient inertes.

## Les premiers dispositifs à mesurer le temps

Ainsi, l'homme en tant qu'être vivant subit la loi des rythmes réguliers qui sont propres à la vie même. Il ne serait sans doute pas faux d'en déduire que ces cycles internes l'ont contraint à repérer d'une manière précise les moments privilégiés de la journée où, d'une manière sensiblement équivalente de jour en jour, certains actes obligatoires se répètent. Nécessité de suppléer un instinct déficient, mais également nécessité d'adopter les rythmes particuliers qui naissent des obligations sociales.

Pour passer du simple repérage à un découpage de plus en plus précis du temps, l'homme va faire preuve d'une ingéniosité telle que toute la science, toute la technologie propres à notre civilisation vont dépendre de cette recherche.

### Les gnomons

Les premiers appareils à mesurer le temps qui s'écoule dans une journée ensoleillée sont les gnomons. Leur principe, qui consiste à repérer l'orientation et la longueur de l'ombre portée d'un objet sur un plan fixe, est si simple que l'on peut supposer qu'avant même de songer à planter dans le sol un objet particulièrement adapté à ce type de mesure, l'homme se contenta de repérer qu'à tel instant de la journée, l'ombre d'une pierre ou d'une branche d'arbre empruntait telle direction.

Le gnomon est constitué par une tige de longueur déterminée, plantée verticalement sur un sol horizontal qui porte des repères. Ceux-ci sont relatifs à la direction de l'ombre et à sa dimension au cours de la journée et à la variation de longueur de cette même ombre au cours de l'année, plus longue au solstice d'hiver, plus courte au solstice d'été.

On trouve les traces des gnomons les plus anciens en Égypte, en Chaldée, en Chine, en Grèce (où ils reçurent leur nom *gnômôn :* « celui qui indique »), et de ce fait, on ne sait pas où ils naquirent véritablement.

Ces appareils très simples et dont l'usage a survécu jusqu'à nos jours, puisqu'on les utilise encore dans certaines régions d'Égypte, possèdent un certain nombre

d'inconvénients, dus en particulier à l'imprécision de la lecture. Plus le gnomon est haut et plus cette lecture est aisée, mais plus l'ombre en extrémité est floue. D'où l'idée de substituer à un simple bâton un obélisque en pierre de grande dimension surmonté d'une boule sphérique donnant en extrémité d'ombre une indication plus ponctuelle. Vers la fin du Xe siècle, l'Arabe Ibn Younis remplaça cette sphère par un disque percé d'un trou dont la projection lumineuse sur le sol améliorait considérablement la précision de la lecture.

Un inconvénient du gnomon, qui devient essentiel lorsqu'il s'agit de coordonner la simultanéité des indications horaires dans un vaste territoire (Empire romain), tient en outre à ce qu'il indique l'heure locale.

### *Les cadrans solaires*

Cet inconvénient subsiste dans le cadran solaire, qui constitue une formule améliorée du gnomon. Ce dernier avait pour inconvénient fondamental de projeter une ombre dont le déplacement était irrégulier. Pour que ce mouvement trouve une régularité et ne traduise plus en quelque sorte la complication apparente du mouvement de la Terre autour du Soleil, il suffit d'incliner le « style » par rapport au « cadran » d'un angle tel qu'il soit non plus vertical, c'est-à-dire dirigé vers le centre de la Terre, mais parallèle à l'axe de la Terre. Ce dernier, pointé vers l'étoile polaire, est facilement déterminable. Le cadran solaire ainsi défini est donc un instrument à usage local. A l'équateur le style doit être horizontal, au pôle Nord il doit être vertical, moyennant quoi la direction de l'ombre en un lieu donné et pour des heures semblables reste la même quel que soit le jour. La longueur de l'ombre, par contre, reste variable.

De tels appareils existaient en Égypte dès 1300 avant J.-C., et Vitruve, quelque trente ans avant J.-C., parle de treize types de cadrans solaires différents, parmi lesquels figurent en particulier ceux qui, semblables à celui que construisit vers 280 Aristarque de Samos, possèdent une table en forme de calotte hémisphérique et un style dont l'extrémité coïncide avec le centre de la sphère.

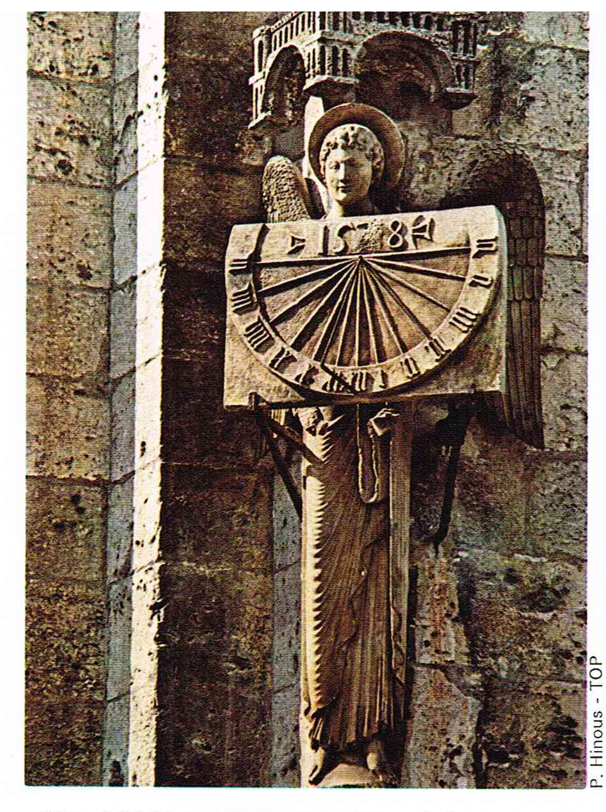
Comme les gnomons, les cadrans solaires ont le grand inconvénient de n'indiquer l'heure que dans la journée. Pour pallier cet inconvénient, on construisit des cadrans lunaires fondés sur la constatation suivante : la pleine lune passe avec la nouvelle lune au méridien du lieu considéré et le jour choisi en même temps que le Soleil. Les jours suivants, la Lune revient au méridien avec trois quarts d'heure de retard. On peut donc ainsi en déduire, en utilisant un cadran solaire éclairé par la Lune, l'heure à l'aide d'un système de correction. Quoi qu'il en soit, on ne peut jamais envisager l'utilisation d'appareils à ombre portée lorsque le ciel est nuageux. C'est pourquoi, dès que l'homme eut suffisamment développé son industrie, il envisagea de fabriquer des mécanismes susceptibles de mesurer le temps dans n'importe quelle circonstance, et en particulier à l'intérieur d'une habitation.

### *L'écoulement des fluides et la consumation des cierges pour marquer l'écoulement du temps*

L'analogie entre l'écoulement du temps et celui d'un fluide était évidemment trop tentante pour qu'elle ne donnât pas naissance à d'ingénieux procédés de décompte des instants qui passent. On construisit donc des appareils utilisant l'écoulement du sable et de l'eau.

Le **sablier**, de fabrication très simple, consiste généralement en la juxtaposition verticale de deux vases coniques en verre, de forme et de contenance similaires, communiquant entre eux par un petit orifice qui permet l'écoulement d'une certaine quantité de sable fin du récipient supérieur dans le récipient inférieur. Le temps nécessaire à la descente du sable est bien déterminé et correspond à quelques minutes, un quart d'heure, une demi-heure, trois quarts d'heure, une heure, rarement plus, à la suite de quoi, si l'on veut apprécier à nouveau un laps de temps identique, il suffit de retourner le sablier pour que le sable entreprenne une nouvelle descente.

Parfois, on s'avisa de placer côte à côte quatre sabliers mesurant l'un le quart d'heure, l'autre la demi-heure, le troisième les trois quarts d'heure et le dernier l'heure, de manière à diviser l'heure et à obtenir une horloge très rudimentaire.



P. Hinous - TOP

◄ ***Cadran solaire. De tels appareils existaient en Égypte dès 1300 avant J.-C. Ils ont le grand inconvénient de n'indiquer l'heure que dans la journée.***

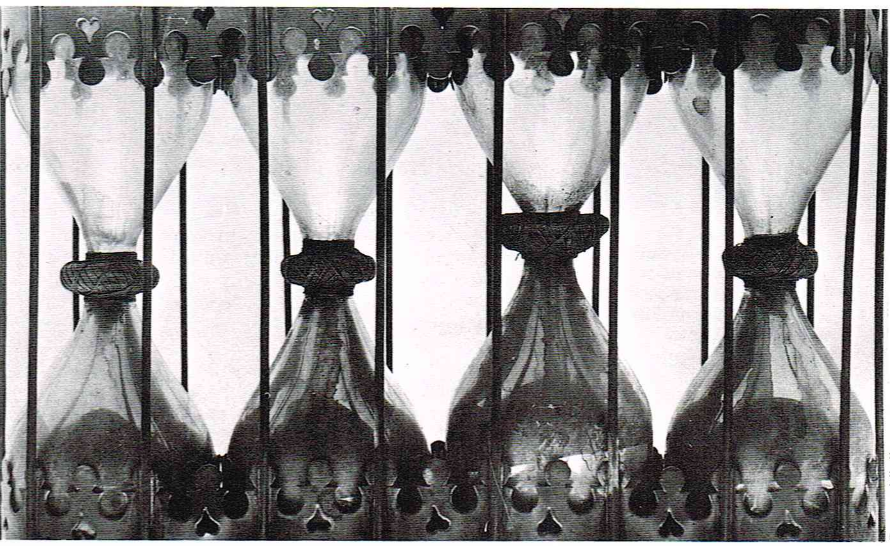
Malgré l'évidence de leur principe et de leur construction (ce n'est en particulier qu'au XIXe siècle que l'on envisagera de substituer à la réunion de deux récipients la réalisation d'une seule pièce soufflée à deux renflements), les sabliers ne sont pas très vieux ; leur naissance date du XIVe siècle seulement.

Plus anciennes sont les **horloges de cire calibrées** dont la consumation a lieu en un temps donné ; leur usage remonte au Xe siècle, avec parfois d'étranges et subtils perfectionnements ; ainsi, au début du XIIIe siècle, l'Arabe Al Jazari joignit à une chandelle un jeu de billes logées dans des alvéoles à différents niveaux, si bien qu'en diminuant de hauteur, la chandelle libérait les billes qui, elles-mêmes, actionnaient des figurines chargées de moucher la mèche et d'entretenir ainsi une combustion régulière. Pour aussi ingénieux que puisse être ce système, on ne saurait considérer les horloges de cire comme les ancêtres mécaniques des systèmes d'horlogerie.

La **clepsydre**, en revanche, quoique son principe soit tout aussi élémentaire, devait donner naissance à d'astucieuses machines à découper le temps.

Tout comme le sablier, la clepsydre trouve son principe dans l'écoulement d'un fluide, mais cette fois-ci, c'est d'eau qu'il s'agit. Il est vraisemblable que, sous la forme très rudimentaire d'un récipient percé d'un trou à la base, de manière à laisser échapper lentement et dans un temps donné le liquide qu'il contient, la clepsydre fut utilisée très tôt dans l'ensemble du Moyen-Orient (3 000 ans avant J.-C. sans doute). Le musée du Caire, en particulier, conserve celle qui fut construite vers 1400 avant J.-C. pour Aménophis III.

▼ ***Sabliers : analogie entre l'écoulement d'un fluide et celui du temps.***



Roger-Viollet

▶ *Horloge astronomique de la basilique Notre-Dame à Saint-Omer.*

P. Hinous - TOP

Ayant constaté que, d'un récipient à parois verticales, l'eau s'écoule d'une manière différente suivant qu'il est plein ou presque vide, les Égyptiens eurent l'idée de réaliser des vases de forme conique dont la pente de 70° entretient un écoulement à vitesse constante.

Un autre type de clepsydre particulièrement fruste dans sa conception faisait, en inversant le principe, intervenir des petits bols flottants dont le fond percé laissait pénétrer l'eau de manière qu'au bout d'un temps donné, lorsqu'une certaine quantité de liquide avait pénétré dans le récipient, celui-ci sombrait. Ce système fut employé par les Celtes de l'Antiquité, par les brahmanes de l'Inde, et également par les Indiens d'Amérique. On l'utilise encore parfois de nos jours en Algérie ou dans l'Égypte du haut Nil.

Le perfectionnement mécanique de la clepsydre fut, en 124 avant J.-C., l'œuvre de Ctésibios d'Alexandrie qui trouva le moyen de visualiser le temps passé à l'aide d'une aiguille et d'un cadran gradué. Lorsque le niveau de l'eau baissait, un flotteur tirait sur une corde enroulée autour d'un tambour relié à l'aiguille.

### *Des mécanismes qui mesurent le temps*

Par la suite, le système corde-tambour devait faire place à des transmissions par crémaillères et roues dentées laissant véritablement présager les systèmes d'horlogerie mécanique.

Au Moyen Age, la clepsydre était d'un usage universel ; elle constituait assez volontiers le présent qu'un souverain destinait à un autre souverain : très célèbre fut celle que le calife de Bagdad, Haroun al-Raschid, offrit à Charlemagne. Elle sonnait les heures en laissant choir par douze fenêtres douze billes de métal sur douze cloches, et à midi faisait apparaître douze automates représentant des chevaliers armés.

L'ingéniosité des mécaniciens qui perfectionnèrent la clepsydre était grande, et les systèmes utilisés pour afficher l'heure préfiguraient suffisamment ceux qui seront adoptés dans les premières horloges mécaniques à poids pour que l'on puisse se demander pourquoi ces dernières n'apparaîtront pas avant le Xe siècle. Il faut aussi constater que leur usage ne fit pas disparaître pour autant clepsydres, sabliers et cadrans solaires dont l'usage survécut pendant de longs siècles.

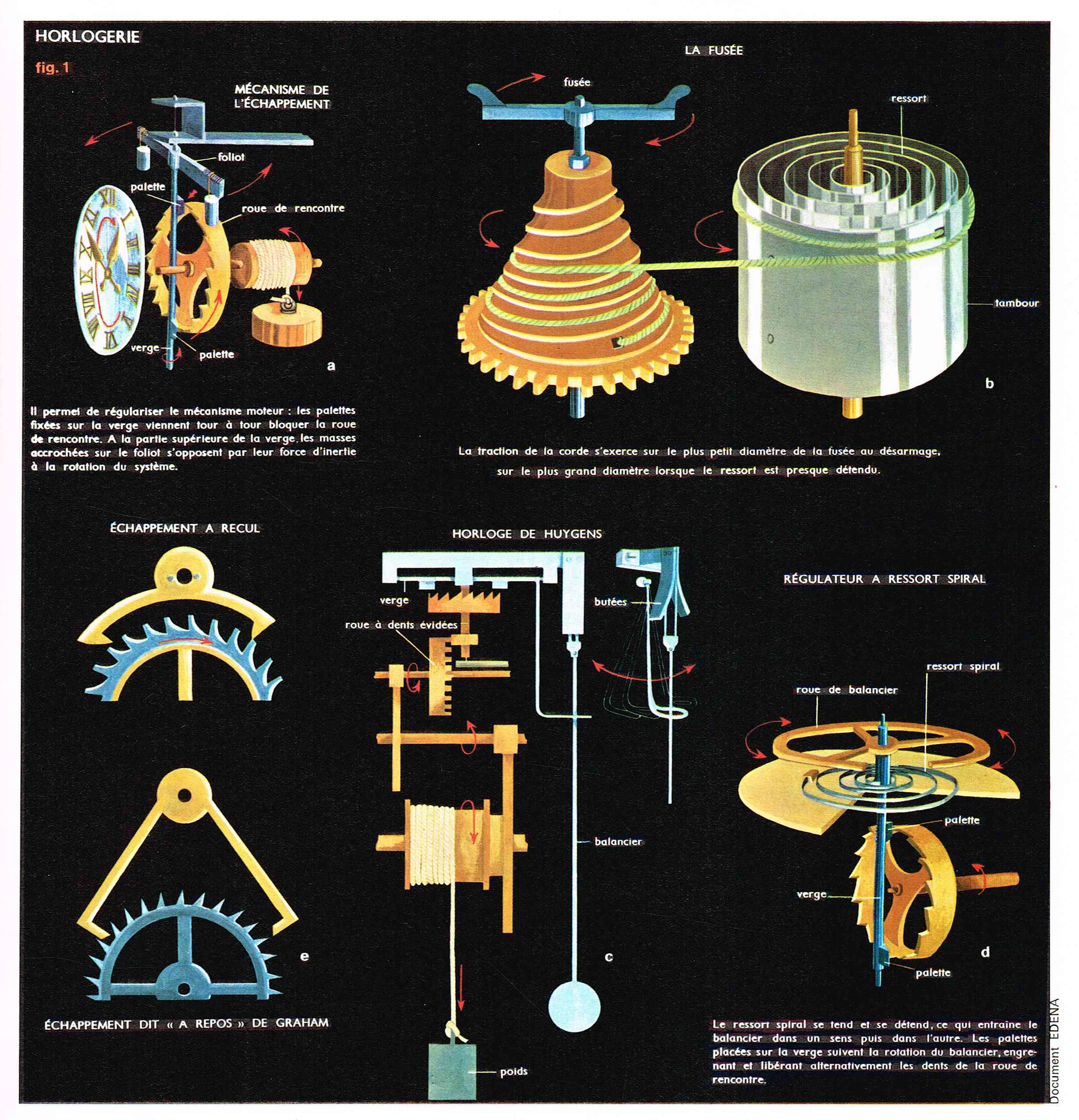
En fait, alors qu'il était relativement aisé de régulariser l'écoulement des fluides, il était beaucoup plus difficile de maîtriser le problème de la chute en mouvement accéléré du poids ou, plus tard, celui de la détente irrégulière du ressort spiral. Pour y parvenir, il fallut découvrir le principe de l'échappement et substituer ainsi à la notion de continuité dans le développement du phénomène mécanique celle du discontinu et du périodique.

Ni clepsydre, ni appareil à poids (l'eau en s'écoulant emplissait les godets placés régulièrement à la périphérie d'une roue de 3,30 m de diamètre et la faisait tourner), l'horloge que Su Song construisit en Chine au XIe siècle, et qui fut vraisemblablement la plus perfectionnée de l'époque, montre pour la première fois un système d'échappement parfaitement fonctionnel qui arrêtait le mouvement de la roue pendant le remplissage des godets. Il serait bien difficile de prétendre que l'Occident n'eut pas connaissance de cette prodigieuse réalisation qui subsista jusqu'à la fin du XIVe siècle.

Si l'on en croit Lewis Mumford, ce serait saint Bernard qui, en Europe, aurait déclenché la recherche technologique qui devait aboutir au développement de la science horlogère. On peut lire en effet dans *Technique et Civilisation :* « Aux variations de la vie séculière, la règle opposait sa discipline de fer. Aux six dévotions quotidiennes, saint Bernard en ajouta une septième. Une bulle du pape Sabinien, au VIIe siècle, décréta que les cloches des monastères sonneraient sept fois par vingt-quatre heures. Ces ponctuations de la journée constituaient les heures canoniques. Il devint nécessaire d'avoir un moyen de les compter et d'assurer leur répétition régulière. » Il faudra pourtant attendre deux cents ans pour que les horloges mécaniques soient véritablement mises au point en Europe. Il ne s'agira d'ailleurs pas alors de machines dont le but serait simplement de compter les heures, mais d'appareils extrêmement complexes que l'on appellera les horloges astronomiques, capables de présenter les jours de l'année avec indication des fêtes fixes et des fêtes mobiles, la position des planètes, le lever et le coucher du Soleil, etc.

▶ *On utilise encore parfois de nos jours en Algérie ou en Égypte des clepsydres, qui trouvent aussi leur principe dans l'écoulement d'un fluide.*

Roger-Viollet




▲ ***Figure 1 : les diverses solutions qui furent trouvées pour résoudre le délicat problème de l'échappement dans une horloge mécanique.***

### *L'évolution technologique de l'horloge mécanique*

La plus parfaite de ces horloges fut celle que Giovanni de Dondi construisit vers 1360 et qui comportait un *échappement* mécanique à verge et palettes, foliot et roue de rencontre, le tout étant actionné par des poids. Il s'agit là du premier ensemble mécanique moteur-échappement, dont l'usage généralisé jusqu'au XVII[e] siècle a permis d'indiquer et de sonner les heures dans toutes les grandes villes et tous les monastères d'Occident.

Le mécanisme de l'échappement fonctionnait de la manière suivante (*fig.* 1a). L'ensemble moteur était constitué par un poids suspendu à l'extrémité d'une corde enroulée sur un tambour. Celui-ci était relié à une roue de rencontre dentée qui recevait alternativement, grâce aux oscillations du foliot lesté (lui-même mis en marche par l'énergie fournie par le poids moteur), des palettes fixées à l'axe du foliot (verge). Leur interposition entre les dents de la roue dentée alternativement à la partie supérieure et à la partie inférieure, suivant les oscillations du foliot, permettait la descente discontinue, mais régulière, du poids jusqu'au déroulement complet de la corde.

Vers 1500, un *ressort spiral* en acier allait faire concurrence aux poids. Cette ingénieuse substitution permit de rendre l'horloge sinon portative, du moins portable, et elle devint ainsi pendule d'appartement. Le mérite de cette invention revient vraisemblablement à Peter Henlein



R. Guillemot - TOP

▶ *La substitution d'un ressort spiral moteur à l'encombrant ensemble poids, corde, tambour a permis la miniaturisation et la mise au point de la montre-bracelet.*

de Nuremberg, encore qu'on en trouve également les traces dans les carnets de Léonard de Vinci. Les « œufs de Nuremberg », ainsi baptisés à cause de leur forme ovoïde, furent rapidement appréciés par les gens fortunés de France et d'Italie qui, en adaptant la forme générale de ces pendulettes aux caprices de leur fantaisie (croix, légumes, animaux, têtes de mort, etc.), n'hésitèrent pas également à utiliser, pour la confection des boîtiers, les métaux les plus précieux, finement ciselés et parfois sertis de pierres précieuses.

Ces horloges, qui utilisaient donc pour faire mouvoir l'aiguille la détente d'un ressort spiral, possédaient de ce fait un mouvement non pas constant mais variable, dans la mesure où le rythme moteur, étant lié à la tension du ressort, décroissait au fur et à mesure de la détente de celui-ci. Pour pallier cet inconvénient, l'horloger tchèque Zech eut l'ingénieuse idée de lier au ressort, par l'intermédiaire d'une corde, une *fusée* de forme conique compensant, par l'accroissement progressif du bras de levier du couple, la décroissance de la force motrice. D'autres chercheurs tenteront d'obtenir le même effet en faisant varier l'épaisseur du ressort sur toute sa longueur (*fig.* 1b).

Le pas décisif dans le domaine de la régularisation des mouvements d'horlogerie allait être fait grâce à l'observation en 1588 par un jeune étudiant de dix-huit ans, Galileo Galilei, de l'oscillation régulière d'une lampe suspendue par une chaîne à la voûte de la cathédrale de Pise. Il imagina immédiatement que ce pourrait être là un moyen de mesurer l'heure et essaya, sans qu'on puisse dire aujourd'hui s'il y parvint, de fabriquer une horloge à pendule. En tout cas, c'est à un âge déjà très avancé qu'il tenta véritablement l'expérience dont le témoignage est parvenu jusqu'à nous grâce à l'existence de quelques croquis.

En 1657, le savant hollandais Christian Huygens devait réaliser le rêve de Galilei en construisant la première *horloge à balancier* (*fig.* 1c). Elle était mue par un poids dont l'effort était exercé par l'intermédiaire d'une roue à champ, elle-même contrôlée par un axe (verge) muni de palettes. L'oscillation de cet axe était assurée par un pendule (balancier) qui, dans ses aller et retour, entraînait, grâce à un renvoi à 90° de celui-ci, l'ensemble verge-palettes.

Les horloges de Huygens furent les premières à marquer les secondes. Bien que considérablement accrue, la précision des horloges à balanciers restait liée à un certain nombre de facteurs, lesquels apparaissent parfaitement dans la formule même de la période d'oscillation du pendule :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}\left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2 \sin^4\frac{\alpha}{2} + \ldots\right]$$

dans laquelle T est la période, I le moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe de rotation, *m* sa masse, *g* l'accélération de la pensanteur, *l* la distance du centre de gravité au centre d'oscillation, α l'amplitude.

On voit en particulier que la période augmente avec l'amplitude ; l'horloge retarde donc quand l'amplitude augmente, ce qui conduit à n'entretenir que des amplitudes faibles. Par ailleurs, on remarque l'influence de la latitude par l'intermédiaire de *g*.

Enfin, la dilatation intervenant sur la longueur du pendule, il fallut envisager de remédier à cet inconvénient en trouvant des systèmes de compensation (une augmentation de 5,5 % sur une longueur de balancier de 1 mètre entraînant un retard de 2,5 secondes par jour).

En 1715, G. Graham conçut un pendule dont la lentille creuse contenait du mercure, de manière que, la température s'élevant, la tige du pendule s'allonge et abaisse le centre d'oscillation, tandis que, le mercure se dilatant et remontant dans la lentille, remonte le centre d'oscillation.

En 1753, J. Harrison inventa le pendule à grille bimétallique fondé sur la différence de dilatation de deux métaux, par exemple acier et laiton. La tige du pendule était constituée par un assemblage de barres de ces deux métaux tel que, lorsque certaines s'allongeaient vers le haut et les autres vers le bas, le centre d'oscillation restait fixe. De nos jours, le métal Invar (alliage de fer et de nickel), découvert par Charles-Édouard Guillaume en 1897, permet de réaliser des tiges de pendules pratiquement indéformables par élévation de température.

En 1675, Huygens devait joindre son nom à l'importante découverte du *balancier spiral* (*fig.* 1d). Celle-ci allait entraîner l'horlogerie vers la miniaturisation, en même temps qu'elle proposait un système précis dans toutes les positions. A partir de là, les montres portatives allaient naître.

Le balancier est une roue possédant une inertie suffisamment grande pour faire office de volant. L'extrémité centrale d'un ressort spiral est fixée sur l'axe du balancier, tandis que l'extrémité périphérique est reliée au pont du balancier. Un système de palettes fixées sur l'axe du balancier et venant agir sur une roue de rencontre complète cet ensemble mécanique de régulation.

Il ne restait plus, à l'aube du XVIII$^e$ siècle, à l'horlogerie mécanique qu'à trouver des systèmes d'échappement parfaitement corrects pour parvenir au dernier degré de perfectionnement. Plusieurs centaines de types d'échappements ont été conçus depuis l'invention de l'échappement à verge et roue de rencontre, qui tentent tous de remédier à son manque d'isochronisme.

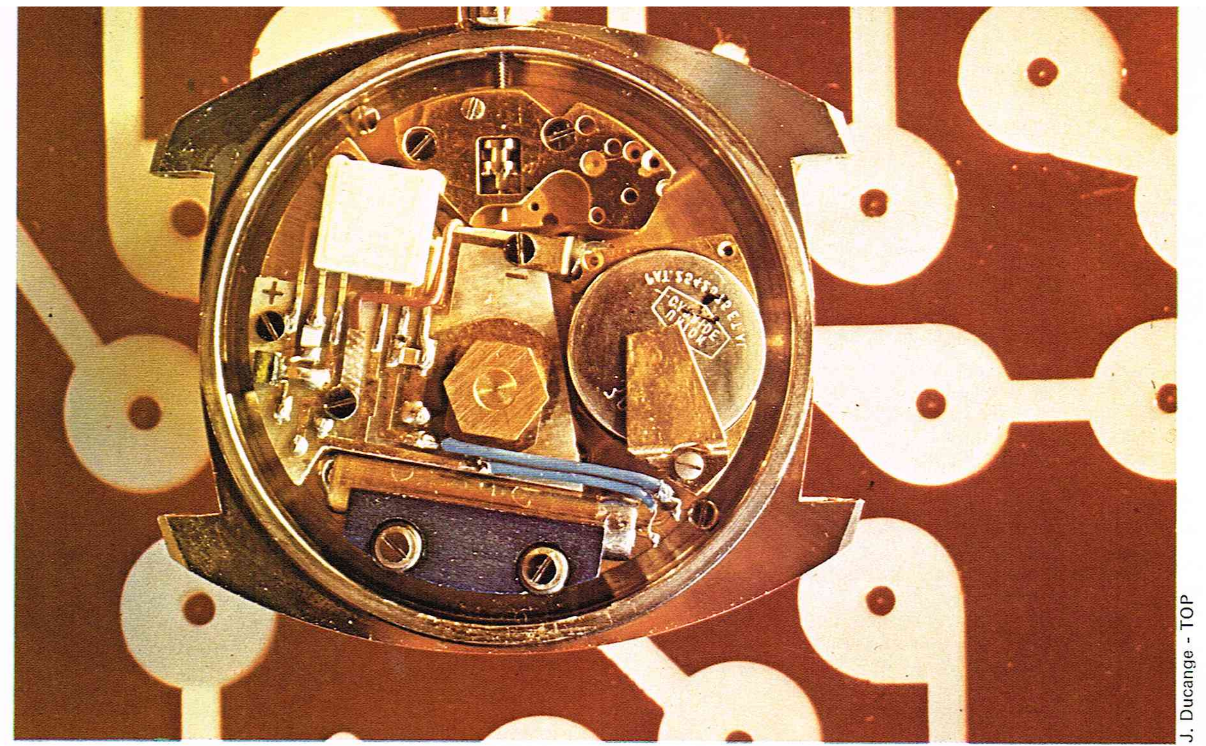
Parmi eux, les plus importants sont : l'échappement à repos de Georges Graham adapté aux horloges pendules, et l'échappement libre à ancre que l'on utilise principalement pour les montres (*fig.* 1e). Dans le premier cas, les impulsions se font au voisinage de la position d'équilibre du pendule et ont lieu en un temps très court.

Dans le second cas, la roue d'échappement agit sur le balancier par l'intermédiaire de l'*ancre*. Les deux palettes de celle-ci s'engagent alternativement dans les dents de la roue d'échappement, tandis qu'une fourchette de l'autre côté de l'axe d'oscillation actionne la cheville du balancier. Les impulsions sont de courte durée et ont lieu au voisinage de la position d'équilibre du balancier. Le balancier bat plus librement que dans le cas de l'échappement à verge et roue de rencontre.

Tous ces perfectionnements des systèmes d'horlogerie, qui suivent la substitution d'un ressort spiral moteur à l'encombrant ensemble poids, corde, tambour, ont permis d'envisager la miniaturisation et d'aboutir vers 1920 à la montre-bracelet.

Une montre mécanique se présente aujourd'hui avec les composants suivants : une roue dentée dont le mouvement est lié à la détente d'un ressort spiral (remontoir) à une possibilité de rotation dans un sens. Un système d'échappement dans lequel l'ancre est mue par les oscillations d'un balancier permet, à chaque allée et venue, le passage d'une seule dent de la roue. L'échappement à ancre entretient lui-même les oscillations. Chaque fois que la roue dentée tourne, elle fournit une impulsion à l'ancre qui la transmet au ressort spiral du balancier. Par ailleurs, un train d'engrenage entraîne le mouvement des aiguilles, des secondes, minutes et heures.

Parmi les perfectionnements liés à l'usage du bracelet-montre, on peut citer le remontage automatique dont le principe est fondé sur la mise en mouvement, grâce aux déplacements du bras, d'une masse oscillante qui remonte constamment le ressort.



J. Ducange - TOP

◀ *Intérieur d'une montre à quartz sur plan de travail.*

## *Horlogerie et électricité*

L'apparition de l'électricité comme source d'énergie stockable dans les piles allait permettre de franchir une nouvelle étape dans le domaine de la précision, la constance de la source d'énergie permettant de garantir la régularité de fonctionnement du résonateur classique balancier-spiral. Conjointement, la recherche allait s'orienter vers l'utilisation de nouveaux résonateurs qui seront le diapason, le quartz et l'atome.

### *Le diapason*

En 1866, L. Bréguet avait songé à l'utilisation du diapason pour une horloge. Mais c'est en 1954 seulement que le Suisse Hetzel put mettre au point la première montre-bracelet électrique à diapason.

Le résonateur est constitué par un diapason d'une fréquence de 360 Hz. Son mouvement est entretenu par l'action d'une bobine, elle-même reliée à un circuit électrique et agissant par l'intermédiaire de deux bobines sur des aimants permanents fixés aux extrémités des branches du diapason. La pile de 1,35 V assure un fonctionnement continu d'un an environ. La roue portant les aiguilles reçoit les vibrations du diapason par l'intermédiaire d'un système de cliquets. La précision de la montre à diapason est d'environ une seconde par jour.

### *Le quartz*

Envisagée vers les années 1920, l'utilisation du quartz en tant que résonateur de système d'horlogerie ne devait prendre effet qu'en 1930. Les propriétés piézo-électriques du quartz ont été mises en évidence par les frères Curie en 1880 : lorsqu'un quartz est soumis à des efforts de traction ou de compression, une polarisation électrique apparaît sur l'une de ses faces, et réciproquement, si on soumet le quartz à une différence de potentiel, il devient le siège de contraintes mécaniques. C'est cette propriété que l'on exploite dans le résonateur. Si l'on utilise une tension alternative, les déformations le deviennent également. Lorsque la fréquence propre du quartz est égale à celle de l'excitation, le quartz entre en résonance ; on parvient ainsi à le faire vibrer à la fréquence de 10 000 Hz. Cette fréquence, trop élevée pour permettre l'affichage direct, est démultipliée électroniquement de manière à agir sur un moteur à rotation uniforme ou à mouvement saccadé.

La précision des montres à quartz est de l'ordre de la minute par an. Conçue en 1970, la montre Hamilton ne possède plus aucune partie mobile, et dans la démultiplication des fréquences, qui permet de passer de 32 768 Hz à 2 Hz par l'intermédiaire de 14 étages binaires, cinq de ces fréquences intermédiaires sont utilisées pour l'ensemble des fonctions, par exemple l'affichage de l'heure en système digital avec diodes fluorescentes.

### *L'atome*

Les horloges atomiques qui existent depuis vingt ans exploitent la stabilité des fréquences de transitions entre des niveaux d'énergie bien déterminés d'atomes particuliers.

En octobre 1976, l'exactitude de ces horloges a permis de donner lors de la XIII[e] Conférence générale des poids et mesures une nouvelle définition de la seconde qui devient « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 ».

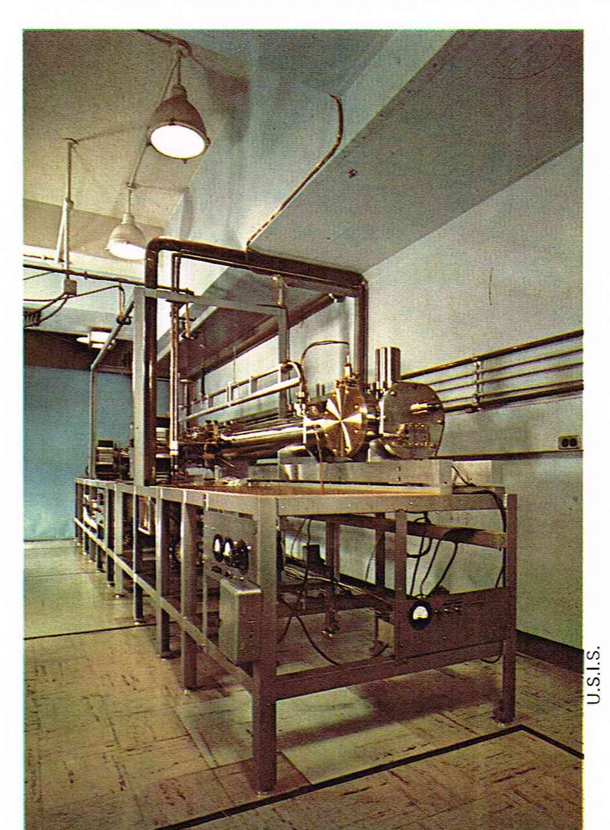
Une horloge atomique utilise comme élément essentiel un étalon de fréquence, les organes de transmission mécanique des systèmes d'horlogerie classique étant, quant à eux, remplacés par des synthétiseurs, des multiplicateurs, des diviseurs de fréquence électronique. Pour que l'horloge atomique soit précise et stable au maximum, il convient d'utiliser une transition atomique de contrôle possédant une raie très fine, dont la fréquence de résonance facile à détecter soit indépendante des conditions extérieures. Les transitions magnétiques dipolaires hyperfines liées à l'état fondamental des atomes alcalins aux fréquences situées dans les hyperfréquences conviennent parfaitement. Parmi les horloges atomiques les plus précises, on peut citer :

**L'horloge moléculaire à ammoniac** utilisant l'effet MASER (Microwave Amplification by Simulated Emission of Radiation). Elle fut imaginée en 1954 par C. H. Townes et utilise une des fréquences d'inversion de position de l'atome d'azote dans une molécule d'am-

Design Programme

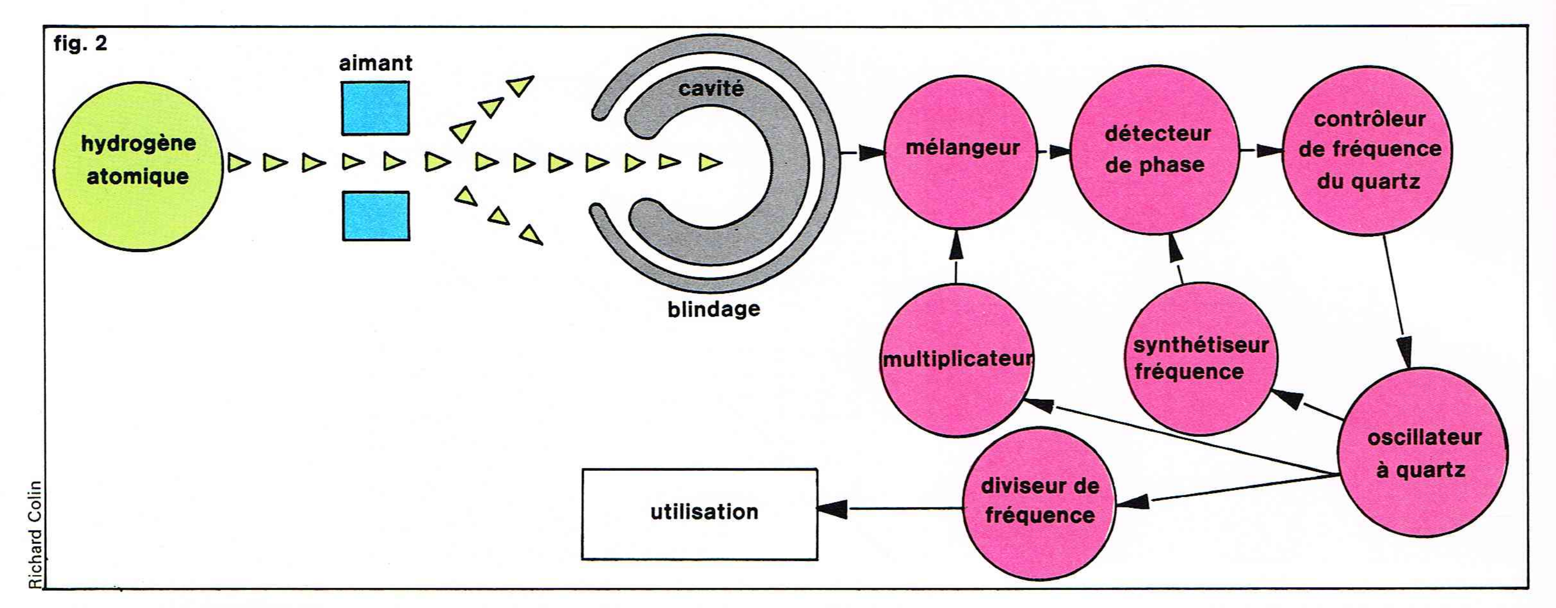



▲ *Montre à quartz Lip, entièrement électronique à affichage digital (Design Roger Tallon, 1975).*



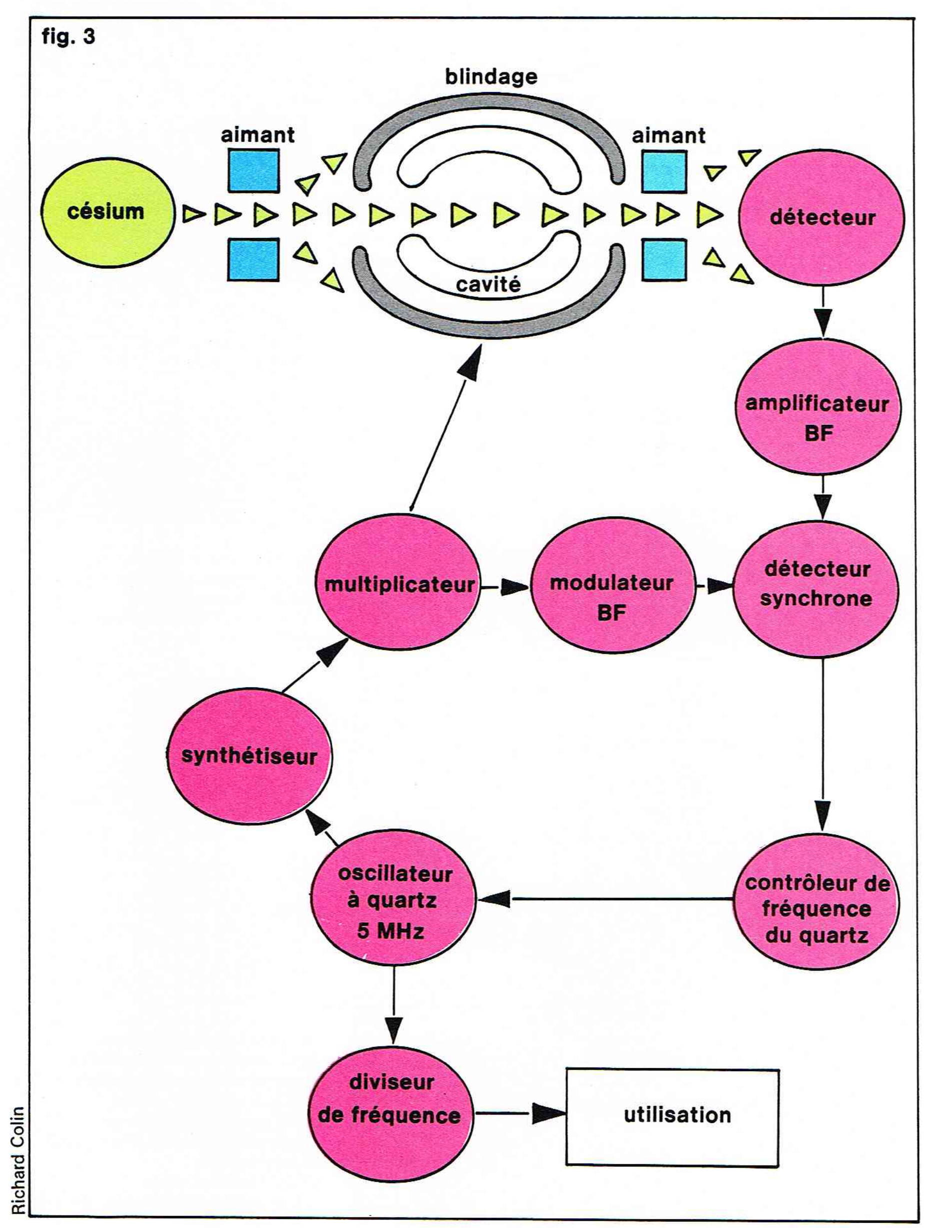
U.S.I.S.

◀ *Horloge atomique. Ces horloges exploitent la stabilité des fréquences de transitions entre des niveaux d'énergie bien déterminés d'atomes particuliers. National Bureau of standards' atomic clock, Denver, coll.*




▲ *Figure 2 : principe d'une horloge atomique à hydrogène (MASER).*

▼ *Figure 3 : principe d'une horloge atomique à jet de césium.*




moniac. Cette horloge est remarquablement indépendante des conditions extérieures dans la mesure où la fréquence n'est soumise ni aux variations de pression, ni aux variations de température, et où elle n'a rien à voir avec le vieillissement de la matière. Néanmoins, on lui préfère aujourd'hui, lorsque l'on veut réaliser les étalons de fréquences atomiques, l'hydrogène atomique dont le spectre dans l'état fondamental est moins dépendant encore des facteurs extérieurs, tout en étant plus simple. La transition correspond à l'écart de niveau (*fig.* 2)

$$F = 1,\ m = 0 \text{ à } F = 0,\ m = 0.$$

Les atomes d'hydrogène, qui sont obtenus grâce à la dissociation de l'hydrogène moléculaire à partir d'une décharge haute fréquence, sont expulsés dans le vide. Les atomes à l'état $F = 0$ sont repoussés au moment de leur passage dans un séparateur magnétique, et les atomes à l'état $F = 1$ sont au contraire concentrés vers l'axe du jet avant de pénétrer dans une enceinte sphérique en quartz revêtue de teflon, placée elle-même dans un espace fermé soumis à l'hyperfréquence. Les atomes d'hydrogène rebondissent sur le teflon des parois de l'enceinte sans perdre leur orientation, et ceci pendant 0,3 seconde environ, à la suite de quoi ils sortent de l'enceinte. S'ils sont en quantité suffisante dans l'enceinte, ils peuvent retomber dans l'état $F = 0$ d'une façon cohérente par émission stimulée et entretenir ainsi dans l'enceinte des oscillations à la fréquence de transition, pourvu que l'énergie totale libérée par les atomes soit supérieure aux pertes dans l'enceinte.

L'énergie hyperfréquence produite par le maser contrôle ensuite la fréquence d'une horloge à quartz (fréquence $10^5$ Hz, qui, par multiplication, fait apparaître la fréquence d'inversion 23 870 127 MHz). L'exactitude d'une telle pendule est actuellement de $\pm 2 \cdot 10^{-12}$.

**L'horloge à jet de césium.** Une autre horloge atomique, imaginée elle aussi vers les années 1950, comporte un jet d'atomes de césium. Elle utilise la transition entre le niveau hyperfin $F = 4$, $m = 0$, et le niveau hyperfin $F = 3$, $m = 0$ (*fig.* 3).

Le jet d'atomes de césium dans un vide poussé passe dans l'entrefer d'aimants à champ magnétique non uniforme qui produit une séparation des atomes telle que seuls les atomes dans l'état $F = 4$ convergent vers l'axe. La transition hyperfine ayant eu lieu dans une cavité hyperfréquence, le jet passe dans l'entrefer d'un deuxième système d'aimants identiques qui relocalise les atomes sur un détecteur qui fonctionne par ionisation de surface.

Comme dans le cas de l'horloge à effet maser, l'horloge à jet de césium contrôle la fréquence d'une horloge à quartz. Sa fréquence est 9 192 631 770 Hz, et la précision de l'horloge est de l'ordre de $10^{-12}$, ce qui correspond sensiblement à 1 seconde en 300 000 ans.

**L'horloge à cellule de rubidium pompée optiquement** utilise une cellule contenant du rubidium 87 placée dans une cavité hyperfréquence. On obtient un pompage optique hyperfin par filtrage d'une source de




R. Guillemot - TOP

lumière de résonance au rubidium 87 passant au travers d'un filtre de l'isotope rubidium 85. Le pompage produit l'enrichissement en atomes dans le niveau d'énergie F = 2 au détriment de ceux du niveau F = 1. Lorsque la fréquence de l'oscillateur qui excite la cavité correspond à la fréquence hyperfine du rubidium 87, il y a à nouveau égalité d'atomes dans les niveaux F = 2 et F = 1, ce qui produit une absorption de lumière à travers la cellule. Cette résonance est détectée photo-électriquement.

### L'affichage digital pour remplacer le système cadran-aiguilles

Parallèlement à l'évolution technologique fondamentale, l'horlogerie a connu dans ces dernières années des mutations dans le domaine de la valeur d'usage. Parmi elles, il faut citer la substitution de l'affichage « numérique » ou « digital » à l'affichage « analogique » des montres et horloges à aiguilles.

Après les systèmes mécaniques à volets qui, dans les lieux publics en particulier, ont permis de visualiser l'heure en se référant à l'écriture, en passant par tous les systèmes d'affichage lumineux, par trames de lampes, lampes à filaments multiples, etc., on en est arrivé dans ce domaine également à un très haut niveau de miniaturisation, qui a permis d'adapter l'affichage numérique aux montres-bracelets à quartz. Cet affichage aujourd'hui peut prendre deux formes :

— il peut utiliser un écran digital/LED (Light Emitting Diodes) où les diodes reproduisent des chiffres qui apparaissent lorsqu'on presse un bouton;

— il peut utiliser un écran digital/LCD (Liquid Cristal Display), et, dans ce cas, les chiffres obtenus à partir des cristaux liquides restent constamment visibles sur un fond clair. La lecture n'est possible qu'avec une lumière ambiante correcte; certaines montres sont équipées d'une petite lampe d'éclairage annexe qui permet la lecture nocturne.

### Des matériaux nouveaux pour une production de masse

On peut enfin constater que l'utilisation des matériaux de synthèse pour la confection des boîtiers, voire des mécanismes, tend à se généraliser dans la fabrication des pendulettes et des montres. Cela permet d'abaisser considérablement les coûts et de rendre ces objets désormais accessibles à tous.

« Changez de montre comme vous changez de vêtements » est devenu aujourd'hui un argument publicitaire qui, à travers sa désinvolture aguichante, en dit long sur les exigences de la civilisation que le monde industriel a fait naître. De la même manière qu'elle commande le programme de la machine, l'horloge permet à chacun de nous d'être comptable de chacune de ces heures qui passent et dont on nous demande désormais de rendre compte.

# ORFÈVRERIE - JOAILLERIE

## De la pierre au joyau

Aussi loin que l'on puisse remonter dans l'histoire de l'humanité, on retrouve la trace du besoin instinctif de se parer. Dès les âges paléolithiques, plumes, coquillages, pigments et cailloux semblent avoir été distingués et utilisés à des fins sans nul doute décoratives, mais pourvues d'un sens spirituel et social.

Mettre en valeur le caractère exceptionnel d'un individu, sa beauté physique, sa force, son rang, mais aussi lui concilier les faveurs des forces supérieures, la protection des divinités, tel semble avoir toujours été le rôle de cet objet étonnant que l'on appelle le bijou, et qui feint parfois d'être utile pour mieux dissimuler qu'il n'a jamais cessé d'être un talisman. Dans cette optique, tout matériau est convenable, pourvu qu'il soit reconnu comme ornemental ou signifiant. Mais comment marquer l'importance particulière de cet objet, si ce n'est en lui conférant les vertus des substances les plus rares, les plus précieuses, les plus inaltérables : brillance des métaux, dureté et pureté des gemmes, toutes ces qualités

*◄ Montre à affichage digital par lampes diodes (à gauche et à droite), par cristaux liquides (au centre).*

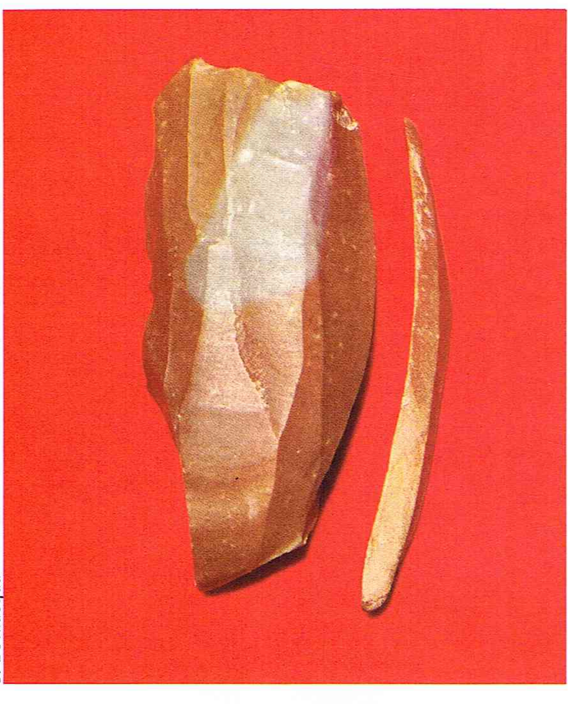
*▼ Ce grand collier, entièrement constitué de variétés de quartz, a été trouvé à Suse (2 000 av. J.-C.); le lion est en cornaline, les yeux prophylactiques (magiques et bénéfiques pour s'opposer au « mauvais œil ») sont en agate à zonage plan (Louvre, Paris).*



C. Bevilacqua

C. Bevilacqua

▲ ***Dix mille ans de patientes acquisitions techniques séparent les fabrications de ces deux objets en jade : hache néolithique, à gauche, et collier chinois du XVIII^e siècle, à droite, (plaque et chaîne prises dans la masse) [E. N. S. M.].***



C. Bevilacqua

▶ ***Les magdaléniens savaient aussi détacher par pression et par percussion sur des nucléus (blocs matrices) de fines lames destinées à servir d'outils.***

qui, au regard de la fragilité humaine, sont un défi à la puissance des éléments et à la force inexorable du temps.

Certes, les matières précieuses ne sont pas les seules à mériter de la considération, c'est l'émotion qui est le support de la beauté, et aucune barrière ne va à l'encontre de l'utilisation de quelque substance que ce soit pour la faire naître, mais, chaque matériau étant considéré dans sa catégorie propre (verre, cuir, bois, matières synthétiques, etc.), nous laisserons de côté la bijouterie dite de fantaisie et le travail des métaux communs pour n'évoquer ici que les matériaux riches, supports de la bijouterie, de la joaillerie et de l'orfèvrerie, produisant des objets précieux.

A quelques exceptions près, tous ces matériaux sont issus du règne minéral. Ce sont des cristaux. Ils se divisent en deux catégories différenciées et complémentaires déterminant les deux technologies fondamentales des arts précieux :

— le monde du *métal*, tout en plasticité et en aptitude à recevoir les formes, dominé par l'or, roi des métaux, métal divinité, privilège des dieux et des rois;

— le monde des *minéraux* proprement dits, roches et gemmes, où dureté et fixité font référence, et au sommet duquel brille la pureté du diamant.

Certes, pour sortir de son animalité, il est manifeste que le premier geste de l'homme a été de ramasser un caillou, sa première réflexion (scientifique) de le choisir pointu et tranchant, et son premier artisanat de produire lui-même les arêtes; c'est le *clivage :* un choc judicieusement appliqué annule la force de liaison des molécules, détachant ainsi des débris du bloc initial qui finira par ne présenter que des surfaces extérieures de plus grande force de cohésion, et dont les lignes de rencontre sont des arêtes vives où la dureté de la roche est à son maximum. Technologie naturelle, encore d'actualité (on ne saurait faire mieux en un minimum de temps et d'effort), elle est en vigueur dans bien des cas pour le travail des cristaux précieux, entre autres celui du diamant.

Le travail par usure des facettes intervient dans un deuxième stade — deuxième âge de l'humanité, âge de la pierre polie. L'interaction de minéraux de duretés différentes, encore une fois technologie douce, fait appel aux propriétés physiques des corps en présence pour faire valoir leurs qualités naturelles.

Quittons ici ce monde minéral, car les pierres de joaillerie, surtout le diamant, rarissime et, par ses qualités mêmes, intraitable, ne furent reconnues et leur technologie maîtrisée qu'à une époque fort récente. Par contre, le troisième stade de la progression de l'humanité l'a amenée à la connaissance des métaux (cuivre, argent, bronze, or), et celle-ci prit le pas sur les connaissances antérieures, conditionnant pour des siècles toute l'évolution de la civilisation. Pour ce qui touche à la production d'objets précieux, notamment des objets en or, elle s'est manifestée avec un éclat tel qu'il semble qu'elle ait atteint d'emblée au plus haut niveau de maîtrise, avec des procédés dont la pratique nous a échappé et dont la théorie tient encore du mystère. Si bien que pour appréhender la technologie des objets précieux, il est indispensable de commencer par celle des métaux qu'elle emploie.

### Les métaux

Un métal pur est constitué par une multitude de grains juxtaposés dont chacun est un cristal. A l'intérieur de ce grain, des atomes tous semblables sont répartis régulièrement selon des rythmes géométriques rigoureux; à chaque élément correspond une structure déterminée qui lui est propre. Il existe des cristaux où tous les atomes sont semblables mais qui ne sont pas des cristaux métalliques. C'est le cas du diamant : chaque électron périphérique d'un atome de carbone est mis en commun avec un électron périphérique de l'atome voisin, constituant ainsi une sorte de molécule géante, dans laquelle

tous les atomes semblables sont liés par covalence. D'autres édifices cristallins sont faits d'atomes différents liés par électrovalence, par exemple le sel gemme. C'est le cas de bien des gemmes, mais il ne s'agit pas non plus de cristaux métalliques.

Dans le cas d'un métal, la cohésion est bien due aux électrons de valence, mais ceux-ci sont mis en commun entre *tous les atomes*. L'ensemble du noyau atomique et des couches d'électrons inférieures complètes constitue une trame d'ions métalliques lourds à charges électriques positives, dans laquelle se déplace un nuage d'électrons à charges électriques négatives, lequel assure la cohésion de l'ensemble. Cette mobilité des électrons de valence explique les propriétés des métaux : la conductibilité électrique et thermique, le magnétisme, le nuage d'électrons pouvant être modifié par un champ électrique, l'éclat métallique et la couleur, et enfin leur qualité principale, à savoir la plasticité, les atomes métalliques pouvant rompre leur liaison avec les atomes voisins, pour procéder à des liaisons équivalentes avec de nouveaux voisins sans altérer l'homogénéité de l'ensemble.

La malléabilité est la propriété de transformer un métal en feuilles, la ductilité celle de l'étirer en fils. Ainsi, l'or peut être transformé en feuilles allant jusqu'à 1/10 000 de mm d'épaisseur. Une once d'or pesant environ 31 g et occupant un volume de 1,5 cm$^3$ environ donnera une feuille d'environ 12,2 m$^2$ et un fil de 90 000 m.

Mais, au cours de ces opérations, les cristaux du métal subissent un tassement qui durcit la masse et la rend cassante. On dit que le métal est *écroui*. On remédie à cet inconvénient en « recuisant ». Le *recuit* consiste à chauffer le métal à une température élevée proche de son point de fusion. La chaleur a pour effet de dilater l'ensemble, et un refroidissement lent de le restructurer de manière homogène. Le *point de fusion* d'un métal est le moment où l'élévation de la température libère totalement les atomes de leurs contraintes ; ils glissent les uns sur les autres et se rassemblent en gouttes. De solide, le métal est devenu liquide. Il est alors apte à prendre n'importe quelle forme et à la conserver sous l'action d'un refroidissement brusque, propriété utilisée pour la *fonte*, ou à dissoudre d'autres éléments, principalement d'autres métaux, ce qui permet la réalisation des alliages.

Les métaux purs fondent et se solidifient à des températures constantes caractéristiques de chaque métal, tandis que les solutions solides ou alliages présentent un intervalle de fusion et de solidification variant avec leur composition chimique.

La *trempe*, refroidissement brusque, fige la structure métallique dans un état reflétant le désordre des hautes températures. Elle permet de conserver à froid et hors d'équilibre une structure stable à chaud. Ce procédé durcit certains métaux, mais il les rend par le même effet cassants. Par un réchauffement méthodique, le *revenu*, on réhomogénéise l'ensemble et on combine les propriétés du métal en vue de la meilleure utilisation fonctionnelle. La trempe n'est guère utilisée dans l'élaboration des objets précieux, en revanche des traitements thermiques dont le résultat est de conférer aux pièces traitées la dureté et d'autres qualités bien définies ont été mis au point grâce à la connaissance actuelle de la physique du métal.

Les métaux qui concernent la fabrication des objets précieux figurent au *tableau* I. Ces métaux ne sont pratiquement jamais utilisés à l'état pur. La combinaison de deux ou de plusieurs d'entre eux permet à la fois d'améliorer leurs qualités, de pallier les inconvénients qu'ils présentent à l'état pur (souvent une trop grande malléabilité), enfin de changer leur coloration dans un dessein esthétique. Les alliages possèdent des caractéristiques propres, notamment des températures de fusion plus basses que celles du métal principal, et peuvent de ce fait être employés pour le soudage.

En France, l'utilisation des métaux précieux est soumise à des règles très strictes : autorisation de l'État et obligation de se conformer aux titres prescrits par la loi.

Ces titres se définissent en carats (pour l'or), ou en millièmes. 1 carat est le 1/24 de la masse considérée ; ainsi, 18 K = 750/1 000. Les titres autorisés sont, pour l'or : 24 K ou or fin ; 22 K ou 920/1 000 ; 20 K ou 840/1 000 ; enfin le 18 K ou 750/1 000, le plus fréquemment employé à cause de ses meilleures qualités de résistance, de son prix de revient et de ses possibilités de coloration.

* L'*or jaune*, Au 750, Cu 125, Ag 125, est d'usage courant.

Un alliage or fin et cuivre prend une belle coloration *rouge*. A 20 K, il se prête à la réalisation de pièces à beaux reflets cuivrés. A 18 K, il est beaucoup plus dur que l'or jaune et autorise la fabrication de ressorts, épingles, etc., et toutes pièces réclamant une bonne résistance et élasticité.

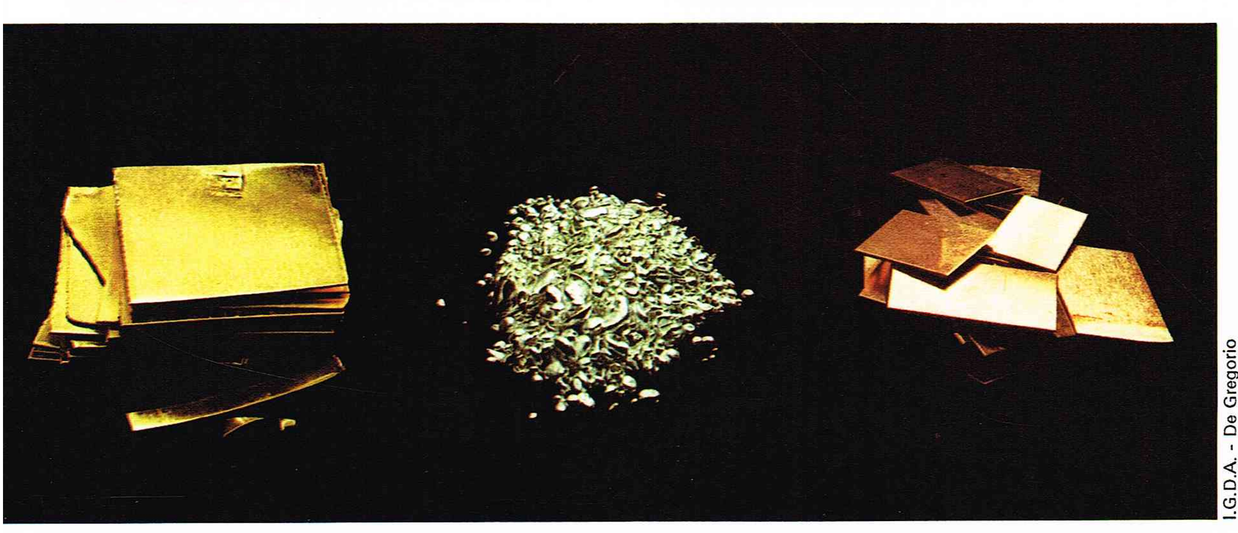
Un alliage or fin et argent donne un or aussi inoxydable que l'or fin et coloré d'un doux reflet *vert*. Trop mou pour les bijoux, on lui préfère un alliage intermédiaire, improprement dit 3/4 jaune, composé de Au 750 g, Cu 90 g, Ag 160 g environ, gardant un ton vert et possédant une meilleure dureté.

**Tableau I**

**Métaux utilisés pour la fabrication des objets précieux**

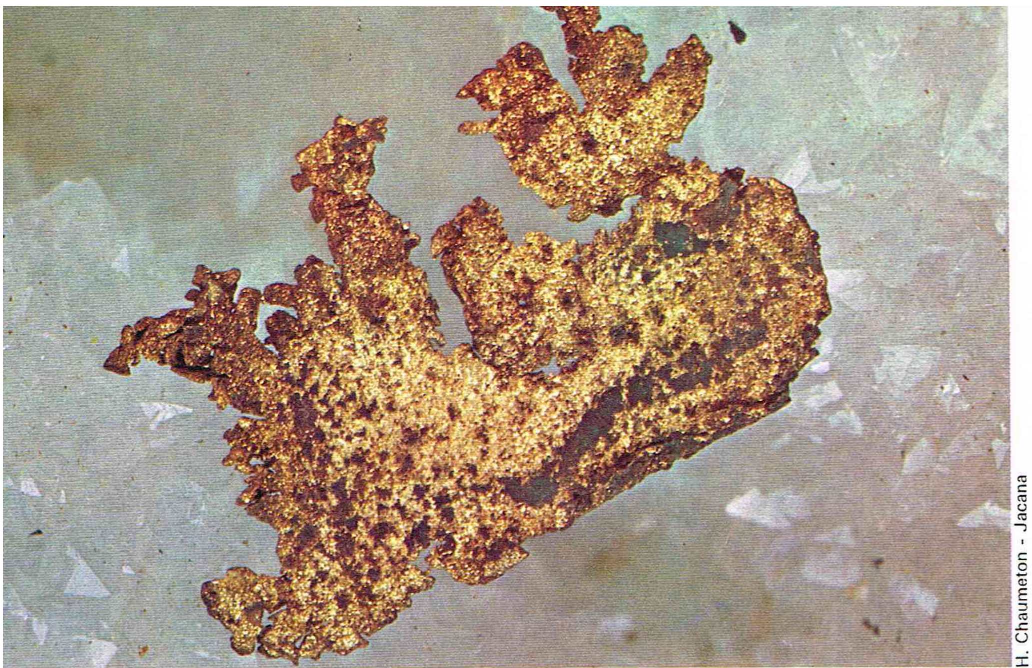
| Métaux | Symbole | Numéro atomique | Densité | Température de fusion (en °C) |
|---|---|---|---|---|
| Or | Au | 79 | 19,7 | 1 064 |
| Platine | Pt | 78 | 19,5 | 1 770 |
| Argent | Ag | 47 | 10,7 | 962 |
| Cuivre | Cu | 29 | 6,3 | 1 084 |
| Étain | Sn | 50 | 11,8 | 228 |
| Zinc | Zn | 30 | 6,5 | 420 |
| Palladium | Pd | 46 | 10,6 | 1 554 |

▲ ***Tableau I : métaux utilisés pour la fabrication des objets précieux.***

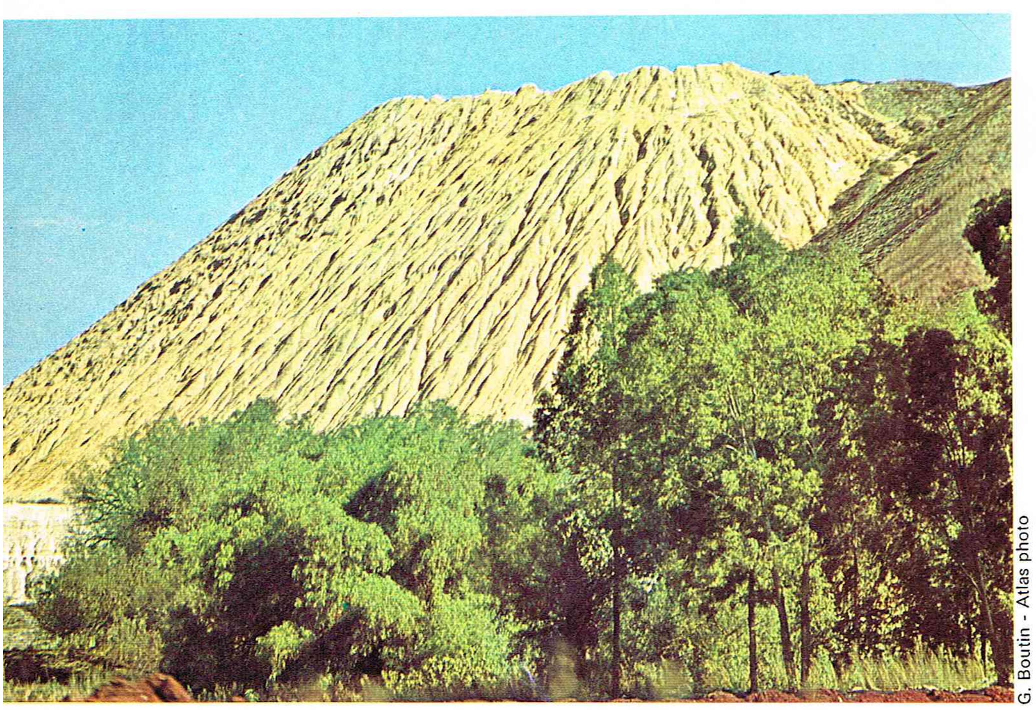


I.G.D.A. - De Gregorio

◀ ***Or et argent fins, et cuivre électrolytique en quantités nécessaires à l'obtention, par fusion, d'un kilogramme d'un alliage appelé* or jaune.**



H. Chaumeton - Jacana



G. Boutin - Atlas photo

▲ *En haut, or natif. Ci-dessus, terril, entassement des stériles d'une mine d'or (Johannesburg).*

▼ *Travailleur dans une mine d'or.*



R. Burri - Magnum

L'*or rose,* très utilisé, est l'alliage intermédiaire entre le rouge et le jaune ; il comporte, en millièmes, Au 750, Cu 170, Ag 80.

L'*or gris* ordinaire comprend 750 à 800 millièmes d'or fin auquel viennent s'ajouter en proportions variables cuivre, zinc et nickel sans aucune adjonction d'argent ou de platine. L'or gris palladié à 750 comporte, en plus de l'or, du cuivre et du nickel, et 100 à 150 millièmes de palladium. Les ors gris ont un bel éclat et des qualités de résistance et d'élasticité propres à la réalisation de ressorts. L'inconvénient de ces alliages pour la bijouterie réside dans la nécessité d'affiner les chutes et les limailles en vue de les réutiliser, car, si on se contente de les refondre, leur texture non homogène leur ôte toute malléabilité.

★ Le *platine* dense et mou titre généralement 950 millièmes ; on lui ajoute du cuivre et de l'iridium pour le durcir. La joaillerie, qui en fit grand cas il y a quelques années, tend maintenant à le laisser de côté au profit des alliages d'or gris.

★ L'*argent* fin, d'un beau blanc mais très mou, peut être employé, mais ne présente que l'intérêt de l'inaltérabilité et de la couleur. Le premier titre, 950/1 000 Ag, 50/1 000 Cu, encore très mou, s'adapte cependant à la fabrication de pièces suffisamment massives ou de pièces auxquelles le travail impose un fort écrouissage. Le deuxième titre est plus apte à l'utilisation courante, il est fait de 800 g Ag et 200 g Cu. On remédie à l'oxydabilité de ces alliages par des revêtements électrolytiques d'argent fin pour la couleur, ou de rhodium, d'une couleur grise moins agréable à l'œil mais dur, qui protège pour un temps la surface des altérations mécaniques et chimiques.

★ Le *palladium*, bien que d'un prix de revient relativement élevé, n'est pas un métal précieux au regard de la législation. Il peut être affecté à la fabrication de bijoux, mais, jouissant d'un succès médiocre, il n'intervient dans ce domaine que par ses qualités de complémentarité dans les alliages, à l'égal d'autres métaux courants tels que nickel, zinc, étain et cuivre, encore que ces derniers aient bien plus de raisons d'être pris en considération : en premier lieu, à cause de leur caractère irremplaçable pour la réalisation de pièces de dinanderie, ainsi que pour la fabrication des alliages destinés à la bijouterie dite « de fantaisie », qui les utilise tels quels ou enrobés d'un revêtement électrolytique, plus ou moins épais, plus ou moins précieux ; enfin pour leur importance dans la fabrication des bronzes, qui de tout temps ont donné lieu à la naissance de formes nobles.

## L'or

Ce n'est pas un effet du hasard si, en tout temps et en tout lieu, l'on a reconnu à l'or la suprématie sur tous les autres métaux. Rare et magnifique, il exerce depuis des temps immémoriaux un irrésistible attrait, et la place qu'il a prise dans l'histoire répond à des mobiles passionnels sans commune mesure avec son apport réel tant dans l'évolution des techniques que dans les mécanismes socio-économiques. Son importance symbolique s'est adaptée à toutes les modes, à toutes les croyances, à toutes les formes de sociétés. Or, le symbole ne s'invente pas, il s'impose de lui-même. Étant universel, l'homme le reconnaît.

Substance inattaquable, se parant des qualités de la lumière, se prêtant aux formes les plus élaborées, l'or est devenu valeur référence, on dit franc comme l'or, pur ou beau comme l'or ; on dit du cœur, de la voix ou du caractère qu'ils sont d'or, etc. ; s'il a revêtu une signification magique et spirituelle, c'est bien parce qu'il est doué des propriétés naturelles idéales.

Déjà, on peut l'admirer à l'état natif. Antérieur à l'apparition de toute vie animale, il est présent partout dans la nature, ce qui explique en partie le caractère universel de son rayonnement, visible à fleur de terre ou à fleur d'eau, seul ou associé à d'autres éléments sans rien perdre de sa beauté. L'humanité primitive n'eut qu'à tendre la main pour s'en emparer ; elle n'eut qu'à cueillir cette matière à laquelle elle put aisément imposer quantité d'autres formes. Paillettes et sables charriés par les eaux, filons d'or des montagnes se détachant sur fond de quartz, la beauté intrinsèque se manifeste sans restriction.

La masse qui se présente est le plus souvent infime, elle n'atteint qu'exceptionnellement des dimensions pro-

digieuses, 92 kg, dit-on, pour la pépite de Molvague (Australie), 40 kg pour un bloc d'or des montagnes dans un filon californien.

Si dans les débuts les petites pépites semblent avoir été relativement faciles à rencontrer, on en vint très vite à la recherche méthodique, et avec les débuts de la civilisation commence l'exploitation systématique des gisements par des travaux de mine, excavations, consolidations, etc., travaux dont on retrouve les traces dans des fouilles en Égypte ainsi que dans des documents écrits.

De nos jours, l'exploitation des gîtes filoniens s'est muée en une véritable industrie. Elle bénéficie des immenses progrès du machinisme pour les forages, l'extraction, le broyage et le concassage, et du progrès des connaissances scientifiques pour les traitements métallurgiques ignés ou physico-chimiques qui font de l'extraction une opération minière complexe où l'or devient parfois secondaire. Les minerais d'accompagnement ont un intérêt pratique souvent plus considérable, tels la pyrite de fer ou de cuivre, la blende (minerai de zinc), la galène (minerai de plomb), les minerais de tellurure d'argent, de mercure et, selon des découvertes récentes, d'uranium, en Union sud-africaine.

Naturellement beau, l'or garde indéfiniment son éclat. Dans les conditions normales, il ne se combine avec aucun autre élément. Il est inaltérable. Les seuls solvants possibles sont un mélange dans des proportions bien précises d'acides chlorhydrique et nitrique, l'eau régale, n'existant pas à l'état naturel, et le mercure avec lequel il forme des alliages spontanés, ou « amalgames », faciles à distiller à la température d'ébullition du mercure (367 °C), procédé connu et utilisé depuis toujours pour extraire l'or des minerais complexes.

Les progrès de la chimie et des aménagements industriels rendent possible aujourd'hui la conversion de certains minerais en chlorure d'or (chloruration) et en aurocyanure de potassium (cyanuration) dont on extrait l'or par réduction, précipitation ou électrolyse. Il est bon de noter toutefois que l'extraction de 20 g d'or nécessite en moyenne le traitement d'une tonne de minerai. On est loin de la cueillette et des légendaires pépites.

Néanmoins, même à très petite échelle, l'exploitation reste rentable, compte tenu de la valeur marchande du métal. Aussi subsiste-t-elle un peu partout, mais les sources essentielles sont :

l'Union sud-africaine, environ 50 % de la production mondiale ;

le Canada, environ 15 % ;

l'U. R. S. S., 7 % selon des estimations, puis les États-Unis, l'Australie, le Ghana, la Rhodésie, le Congo-Kinshasa.

Viennent ensuite la Colombie, le Mexique, le Pérou, le Brésil, le Chili, l'Inde, les Philippines, le Japon, etc.

La France conserve encore une mine, celle de Salsigne, dans la Montagne Noire, qui emploie environ 450 personnes à l'extraction de minerai contenant, en plus de l'or, du cuivre, de l'argent et de l'arsenic. Sa production annuelle est de 6 t pour l'argent, et de 1 1/2 à 2 t pour l'or. La mine de Saint-Yriex en Haute-Vienne, dont l'exploitation avait été abandonnée après la Deuxième Guerre mondiale, risque de connaître un regain d'activité, car de nouveaux filons de surface y auraient été récemment mis à jour, d'une teneur de 25 g par tonne.

L'or mis dans le commerce est absorbé à 70 % par la bijouterie-orfèvrerie, 10 % sert à la prothèse dentaire, 8 % à la fabrication de métal plaqué, le reste est à usage industriel (décoration, dorure).

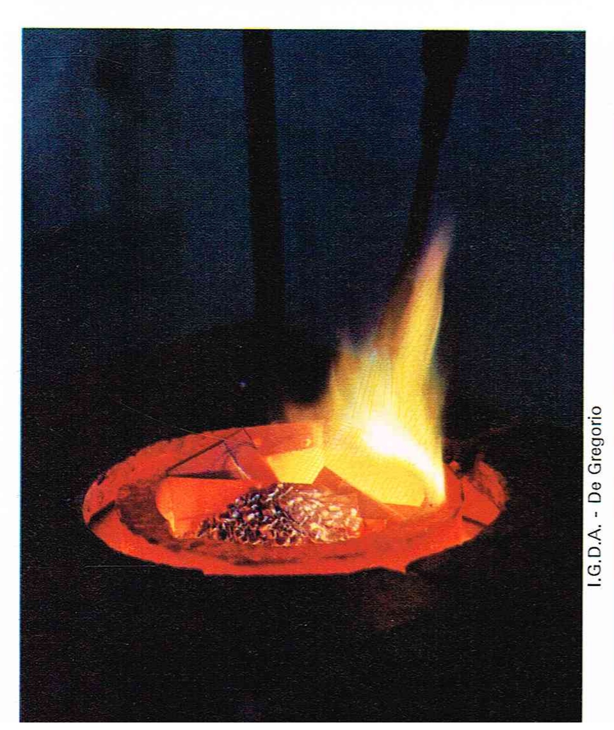
Remarquable par son aspect, universellement répandu, bien que de faible disponibilité, l'or a pu être utilisé dès le début de l'âge des métaux, car c'est le métal dont la métallurgie pose le moins de problèmes. La possibilité de le former, l'étirer, l'écraser par simple martelage apparaît d'emblée ; ainsi, furent façonnés les premiers objets en or révélés par les fouilles archéologiques (perle de Thire), mais sa légende est liée au feu. Et c'est avec la maîtrise de ce dernier que furent inventoriées toutes les possibilités de manipulation du métal. Si malléabilité et ductilité sont évidentes, leur application en est très vite limitée, lorsqu'elle n'alterne pas avec des opérations de recuit. Il en va de même de tous les formages, estampages, ciselures et autres interventions mécaniques. Tout le travail de l'or est lié à la pratique du feu.

### Travail des métaux

● Pour disposer au départ d'une quantité de métal suffisante et lui donner les caractéristiques appropriées au travail que l'on s'est fixé, l'opération fondamentale est la fusion, et son corollaire, la fonte. Elle intervient pour rassembler les petites quantités de métal en une masse unique, sorte de goutte aplatie, ou *culot*. Celui-ci peut être travaillé par martelage : on le *forge*. Plusieurs culots peuvent être refondus ensemble ; les fontes successives ne nuisent en rien à la qualité du métal. Au contraire, il se purifie au contact des *fondants*, produits dont le rôle est d'absorber les oxydes métalliques et les impuretés qui pourraient s'y trouver.

On place les parcelles d'or et les fondants adéquats dans un creuset en terre réfractaire que l'on chauffe soit dans un four (à charbon, à gaz ou à l'électricité), soit au moyen d'un chalumeau comme c'est le cas dans les ateliers artisanaux. La masse métallique rougit, se liquéfie, devient incandescente sous le souffle du chalumeau, tournoie en volutes irisées pour se refroidir en un galet recouvert d'un dépôt fuligineux entouré de scories diversement colorées. A moins que, soutenant le feu pour lui garder sa fluidité, on ne coule le métal qui paraît prêt à bouillir dans un moule parallélépipédique en fonte où il se fige en un lingot, à la surface granuleuse et brillante.

Les fondants restent collés au fond du creuset. Les plus utilisés, tant pour l'or que pour les métaux précieux, sont le borax ou borate de soude et le carbonate de soude. Une pincée de salpêtre ou de soufre, ajoutée vivement juste avant la coulée, élimine les impuretés


I.G.D.A. - De Gregorio


I.G.D.A. - De Gregorio

◀ *A gauche, fusion des composants de l'or jaune. A droite, l'alliage, parfaitement liquéfié, est versé du creuset dans le moule (lingotière).*



I.G.D.A. - De Gregorio



I.G.D.A. - De Gregorio

▲ *En haut, lingot d'or jaune obtenu après les opérations de fusion et de coulage. En bas, phase de fusion dans une centrifugeuse.*
▼ *A gauche, laminage à froid d'une feuille d'or pur par écrasement du lingot. A droite, fonte à cire perdue. Ici, fabrication, à l'aide du prototype du bijou choisi, du moule vulcanisé qui permettra le tirage de cires pour fondre le modèle à la cire perdue.*

restantes dont la présence nuirait à la bonne plasticité du métal.

Lors de la préparation de la fonte, on peut introduire dans le creuset des métaux complémentaires, de qualités et en quantités déterminées, pour obtenir des alliages aptes à des usages variés, selon le titre, la couleur, la dureté et la fusibilité recherchés. Au sortir de la lingotière, brillant et dense, doux au toucher, sonnant bien sur le tas en acier, le lingot est prêt pour sa transformation.

Celle-ci se fait à froid. Elle a pour but d' « apprêter » le métal pour le présenter en fils ou en feuilles : étirage et laminage. Deux cylindres d'acier superposés et tournant simultanément en sens inverse écrasent le lingot engagé dans l'espace qui les sépare. Un mécanisme de réglage permet de modifier l'intervalle de séparation, de façon à exercer une pression croissante mais modérée. Le métal sera ainsi entraîné et aminci par des passes successives, sans subir d'écrasement brutal qui bouleverserait l'homogénéité de sa structure. Le laminage se fait au moyen de rouleaux parfaitement lisses et polis. Il faut veiller en cours de travail à ne pas inverser le sens du passage et à pratiquer plusieurs recuits, car, sous la pression des rouleaux, le métal s'écrouit ; il perd son épaisseur, s'élargissant à peine au profit d'un allongement appréciable à chaque passage. Quand le lingot aura atteint au moins le double de sa longueur initiale, on pourra le passer en sens inverse, ou perpendiculairement au précédent passage, mais on ne le fait sans dommages qu'après l'avoir soigneusement recuit.

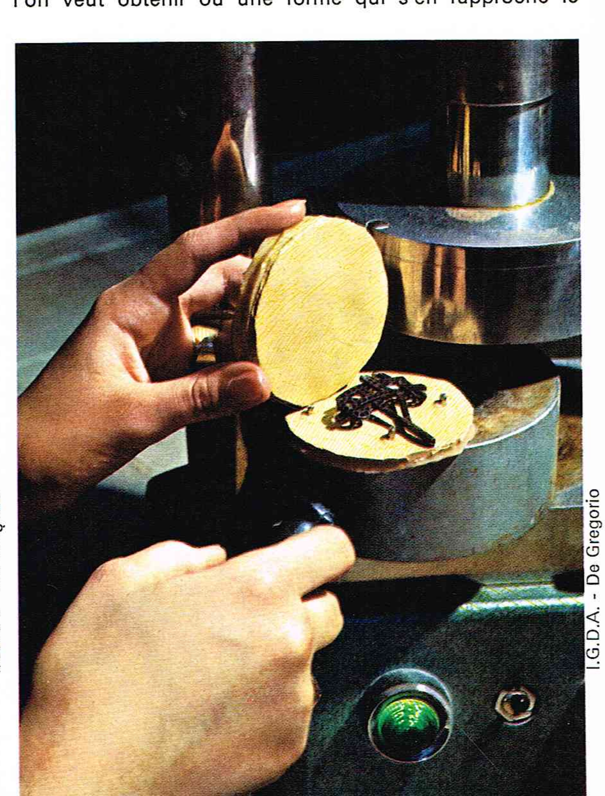
Des rouleaux creusés de cannelures de dimensions décroissantes équipent les laminoirs pour fils. On y introduit des barres de section carrée, obtenues directement au coulage, ou découpées dans de la plaque. Le passage dans des cannelures de plus en plus petites allonge le métal et l'étrécit. Pour finir, le passage dans des filières (plaques percées de trous où l'on force le métal à passer en le tirant avec une pince) régularise la section du fil, la modifie selon la forme des trous (ronds, carrés, ovales, cannelés, etc.) et la diminue jusqu'à la dimension désirée.

Fonte, alliage, laminage et étirage sont couramment pratiqués, même dans de petits ateliers, mais les conditions de production de l'industrie mettent à la portée des fabricants grands et petits des produits apprêtés qui bénéficient de tous les progrès de la connaissance physique et expérimentale du métal, tant pour les métaux traités que pour ceux qui servent à la construction des appareils et des machines utilisés à cet effet.

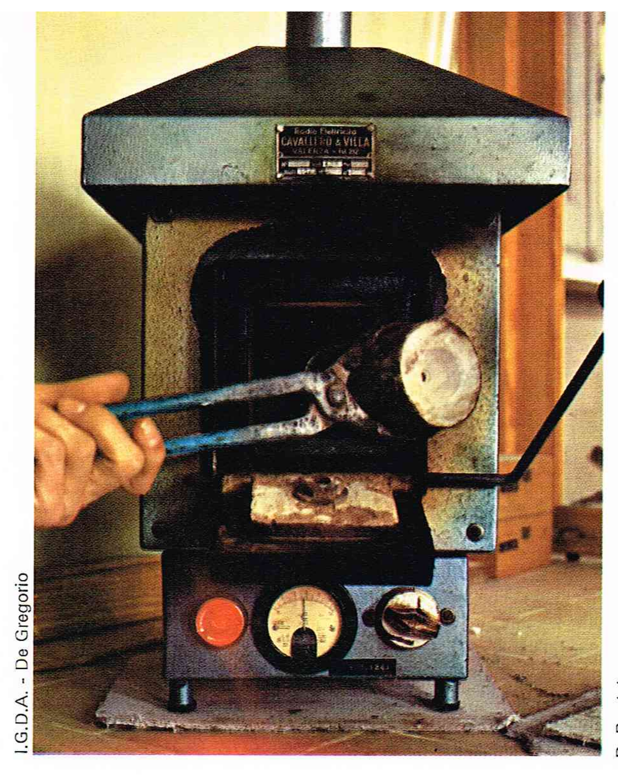
● Un autre procédé de transformation, connu depuis les débuts de la métallurgie, connaît actuellement d'importantes améliorations, c'est la *fonte à la cire perdue*. Au lieu de verser le métal en fusion dans une lingotière, on peut le solidifier dans un moule ayant la forme que l'on veut obtenir ou une forme qui s'en rapproche le



I.G.D.A. - De Gregorio



I.G.D.A. - De Gregorio




I.G.D.A. - De Gregorio



D. Boutet

▲ ***A gauche, fonte à cire perdue, sortie du four d'un cylindre de plâtre préchauffé à 800 °C.***

***A droite, phase de soudure des éléments d'un bijou.***

plus possible. Ainsi peuvent être coulées statuettes, pendentifs, anneaux massifs pour bagues ou bracelets. On fait un modèle en cire, que l'on enrobe d'un matériau résistant à la chaleur, terre, plâtre, agglomérés, en réservant des jets de coulée et des évents. Le métal en fusion vient remplacer la cire, reproduisant exactement le volume qu'elle occupait. Un léger rétreint du métal au refroidissement facilite l'extraction du « tirage ».

Cette méthode permet d'envisager, à partir d'une matrice, la répétition du modèle initial. Largement utilisée dès les premières civilisations des métaux, elle semble avoir été appliquée de préférence à la fabrication d'objets en bronze, parmi lesquels figurent et des bijoux et des outils. L'or, moins disponible et magnifiant, était plutôt étalé en feuilles. Hautement respecté, il n'engendrait que des pièces réclamant plus que le soin de bien reproduire un modèle donné. Il n'en va plus ainsi aujourd'hui. Économie de consommation oblige. Si l'objet précieux garde parfois un sens social, il est totalement vidé de son contenu spirituel. De la bijouterie courante aux joyaux les plus coûteux, tout vient en « tirages ». La différence est dans le nombre; nombre d'exemplaires tirés, nombre d'heures de travail exigées par la mise au point de la maquette. Les procédés modernes de fonte — sous pression, par centrifugation — ont contribué à la généralisation du procédé, en raison de la facilité d'obtention de grandes quantités de pièces venant d'une même coulée.

Les matrices sont réalisées dans des gommes vulcanisables et parfois — plus récemment — dans des matières polymérisables. Elles sont pourvues d'un jet de coulée et sectionnées en deux parties exactement superposables. Le vide formé par le volume de la maquette est garni par centrifugation de cire chauffée, qu'on laisse solidifier avant de l'extraire avec son jet de coulée. On obtient donc autant de pièces que l'on veut du même modèle. Les cires semblables ou de modèles différents sont rassemblées en une sorte d'arbre dont le tronc est un « cylindre ». On enrobe l'ensemble dans un revêtement de plâtre fin que l'on place dans un four pour le sécher et l'amener à une température convenant à la réception du métal en fusion. Le métal est coulé par centrifugation. On refroidit et on désagrège le revêtement de plâtre qui laisse à nu une grappe de pièces reliées au cylindre par leur tige de coulée. Il n'y a plus qu'à détacher chaque pièce en coupant la tige et à procéder à la finition.

Une forme très ouvragée peut très bien venir d'un seul jeu, mais elle aura besoin d'être « reprise » : il faut enlever à la scie le jet de fonte, limer les ébarbures, poncer les surfaces planes qui tendent à se creuser par l'effet de rétraction du métal au refroidissement. L'aspect de ces pièces, quant à leur forme et à leur enveloppe extérieure, est bien similaire au modèle original. Seule leur texture est différente, moins compacte, moins dense; il arrive aussi qu'elle présente des vides. On dit que le métal est « piqué ». A moins d'un traitement spécial, la surface du métal ne sera pas susceptible d'une aussi belle finition, et la qualité intrinsèque de l'objet s'en trouvera modifiée.

● Si deux ou plusieurs pièces ainsi obtenues doivent être assemblées, on a recours au *soudage*, exactement comme on le ferait pour des éléments façonnés à l'établi. L'opération consiste à réunir deux parties de métal en utilisant la différence de fusibilité des alliages.

On prépare les parties à souder en les limant de manière qu'elles soient bien planes et bien propres. On les maintient rapprochées, au besoin en s'aidant d'une ligature en fil de fer, ou en les fixant dans du plâtre. Il faut que l'ajustement soit parfait, sans qu'il y ait d'interstice. On enduit le joint d'une solution de borax qui facilitera la diffusion de la soudure que l'on dépose sur le joint en minuscules paillons. On actionne alors le chalumeau, pour chauffer, non la soudure, mais toute la pièce, jusqu'à obtention de la température de fusion de la soudure. Celle-ci fondra alors, filant en un éclair le long du joint et rendant les deux morceaux de métal parfaitement solidaires, au point que, sur un objet fini, on a du mal à localiser une soudure bien faite. On décape alors la pièce dans un bain d'acide sulfurique dilué, le bain de « déroché ». Soigneusement rincée et séchée, elle est prête pour une deuxième intervention, s'il y a lieu, avec une soudure plus basse.

On soude généralement entre eux des métaux ou alliages de composition semblable, mais rien ne s'oppose à l'assemblage de métaux différents : or sur argent, argent ou or sur bronze ou cuivre, à condition de respecter les limites inférieures de fusibilité des métaux en présence. Cela permet de varier les effets décoratifs et de réaliser des placages. Un plaqué laminé fabriqué industriellement ne réclame même pas un apport de soudure. Un lingot d'alliage de cuivre sur lequel repose une feuille d'or est porté, dans un four à l'abri de toute oxydation, à la température limite de sa fusibilité. L'ensemble est pressé à chaud dans une presse hydraulique d'environ 200 t, puis laminé avec des recuits fréquents. La cohésion entre les atomes du métal support et ceux de la feuille plaquée est absolument parfaite, et l'on peut traiter les feuilles ainsi obtenues comme un seul alliage. La surface présente, en plus d'un très bel aspect, d'excellentes qualités de résistance, bien que l'épaisseur du placage ne dépasse généralement guère 20 à 30 micromètres.

Les avantages apportés au travail des métaux précieux par la connaissance et l'industrialisation contemporaines facilitent une partie du travail et assurent une diffusion très large des objets. Ils n'ont guère modifié les techniques de base, ni le travail manuel qu'ils requièrent. A quelques détails près, l'outillage reste le même, et il sert à effectuer les mêmes opérations : découpage, perçage, limage, emboutissage, estampage, gravure, ciselure, repoussé, guillochage, brunissage, polissage, etc. Cependant, grâce à l'utilisation de tourets électriques, complétée par des traitements électrolytiques et thermo-électriques qui camouflent les imperfections et durcissent les surfaces, la finition atteint un degré de perfection jamais égalé.

Mais on est en droit de se demander si tous ces développements représentent bien un progrès. Un regard

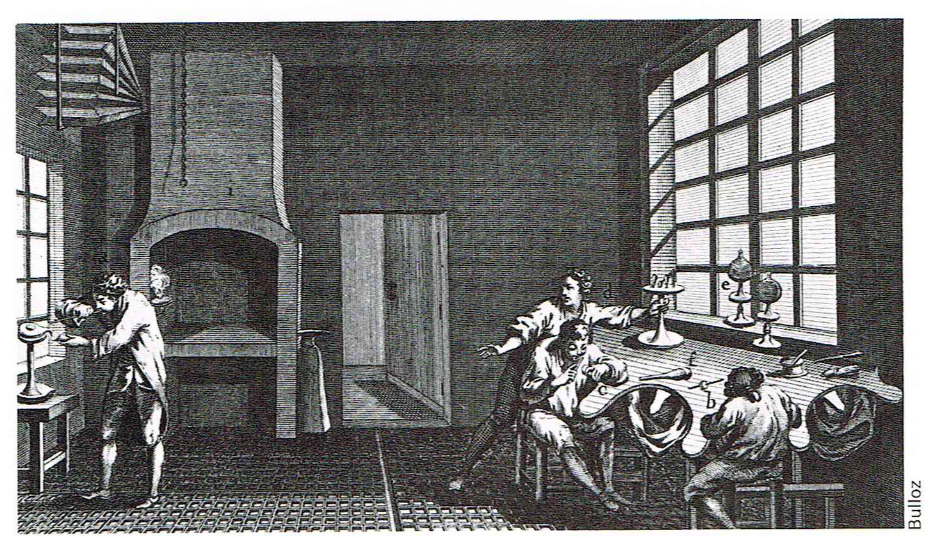

R. Wilson - TOP

▲ *Art thrace. Rhyton en or en forme de tête de cerf (découvert à Panargurichte).*

rapide sur ce qui émerge du passé, confronté à ce que nous produisons aujourd'hui, met cruellement en évidence l'appauvrissement de la qualité artistique. Quant à la technique même, oserions-nous affirmer quelque supériorité ? Quand on examine la moindre bague égyptienne, quelque phiale achéménide, le torque de Koul-Oba, ou un gobelet étrusque, on reste confondu. Tant de virtuosité ne semble pas compatible avec les embûches d'un travail par trop hypothétique et laborieux. Les procédés existaient, qui autorisaient à se jouer de milliers de granulations à peine palpables, à les aligner en prodigieuses arabesques, à les relier sans bavure, sans empâtement, sans déformation, à la feuille pourtant très mince qui les supporte.

Des analyses micrographiques, des expérimentations de laboratoire ainsi que le travail et l'imagination de savants qualifiés ont permis d'aboutir à des idées théoriques sur la méthode employée. Les explications logiques, compatibles avec les propriétés chimiques et physiques du métal, sont d'autant plus aptes à convaincre que des applications pratiques ont pu en être faites. Le procédé n'en demeure pas moins entouré d'un halo de mystère qui ne sera sans doute jamais totalement éclairci, même si sa reconstitution est très proche de la réalité. La plus précise des analyses ne peut livrer les conditions exactes de la réalisation, ni la nature exacte des produits employés, composants volatilisés en cours d'exécution, substances végétales ou animales ne résistant pas à la chaleur, catalyseur quelconque, ne se fixant pas sur l'objet. Tout ce que l'on peut dire, c'est qu'aujourd'hui nul ne se sent capable de refaire vraiment aucune de ces pièces, ni de produire un travail analogue en virtuosité.

▼ *Planche de l'Encyclopédie de D'Alembert : orfèvres-joailliers.*


Bulloz

Doit-on s'étonner d'avoir perdu des recettes dont l'application était généralisée ? Les documents sont rares. En retrouverait-on de plus explicites que ceux dont nous disposons que nous ne saurions peut-être pas les interpréter. L'orfèvrerie n'était qu'un art ; elle n'a jamais été science. Outre que chaque atelier ou chaque individu aime bien garder secrets les « trucs » qui lui permettent de faire mieux qu'autrui, ce qui est parfois une nécessité vitale, les connaissances étaient transmises oralement. Et pour cause, bien peu étaient en mesure de lire et d'écrire, et ceux-là ne devaient guère s'adonner à l'orfèvrerie. Si bien que la transcription est dès le départ sujette à caution. S'y ajoute la mouvance du vocabulaire ; la désignation nominale d'un produit a pu s'attacher à tout autre chose, et à la limite perdre totalement son sens. De plus les jargons ne se sont jamais embarrassés de désignations scientifiques. Hermétisme voulu ou inconscient, on prend du « déroché », du « fondant », de l'« isolant », ou, pour citer un exemple précis et actuel, du « plator », appellation désignant un alliage d'or gris fort apprécié et ne contenant pas un seul gramme de platine, comme son nom inciterait à l'imaginer. Pour peu que le procédé se révèle efficace, qui ira se soucier de la nature exacte du produit, procédé et produit étant considérés comme d'autant meilleurs qu'ils paraissent plus nouveaux ? D'une génération à l'autre, le procédé change, la mode changeant aussi. Simultanément à l'oubli, insensiblement la transition s'effectue.

### *Les pierres*

Étymologiquement, l'orfèvrerie est le travail de l'or. Si l'on ajoutait quelque pierre de-ci de-là, c'était surtout pour souligner la beauté du métal. Des incrustations de métaux de couleurs diverses furent pratiquées dès l'époque sumérienne. Le nielle, les émaux, oxydes naturels fusionnés avec du verre, vinrent heureusement enrichir les décors en filigrane et en cloisonné ; le goût de la couleur et des effets de transparence se répandit, contribuant, conjointement à une carence de l'or à certaines époques, à ce que les orfèvres s'attachent moins aux prouesses qu'autorisait la seule connaissance du métal.

Le désir d'accroître ces effets de transparence, de luminosité et de couleur aida à généraliser l'intérêt porté aux pierres. Plus ou moins précieuses, connues dès la plus haute antiquité, certaines étaient investies, à l'égal de l'or, d'une aura magique. On leur reconnaissait, en plus de leur attrait visuel, des vertus surnaturelles et des pouvoirs prophylactiques en étroite relation avec leur signification astrale.

L'évolution se fit dans le sens de la diversité croissante des variétés, et dans la recherche des moyens propres à mettre en valeur leur aspect naturel en exploitant toutes leurs possibilités ornementales. Polissage, taille de cabochons, avivage des facettes naturelles après un clivage sommaire furent toujours pratiqués. Le progrès eut pour objet de réussir à forer les pierres, à les creuser, à graver des dessins en creux (intailles de sceaux et de cylindres), ou en relief (camées), à les façonner en perles.

La vogue des pierres alla croissant, celle des gemmes proprement dites commença vers le X$^{e}$ siècle, pour susciter de plus en plus d'intérêt avec la meilleure connaissance des cristaux et des procédés de taille à facettes. C'est à partir du XV$^{e}$ siècle qu'avec l'engouement pour les pierres précieuses, sous l'éternel orfèvre, commença d'apparaître le moderne joaillier.

Les matières les plus recherchées pour la parure et la création d'objets précieux sont des substances cristallines :

* D'abord les gemmes, à cristal unique, édifices d'atomes, ions ou molécules disposés régulièrement selon des schémas axiaux cohérents, propres à chaque variété. Elles sont homogènes, transparentes, et leur couleur résulte de la transformation que leur édifice cristallin impose à la lumière.

A cette catégorie appartiennent non seulement les gemmes les plus admirées et bien évidemment le diamant, mais tous les cristaux, depuis l'humble sel gemme et les fragiles fluorines, en passant par toutes les variétés qui intéressent la bijouterie. Il faut citer les spinelles, les quartz, les tourmalines, les zircons, les grenats, les béryls dont une variété est l'émeraude, les corindons qui comprennent notamment rubis et saphirs, et enfin



C. Bevilacqua

◀ *Quelques sceaux anciens. Le sceau rond en fluorite vert pâle et le sceau carré en calcaire rouge, tous deux gravés au foret, ont été trouvés à Suse et remontent à la fin du IVe millénaire et au début du IIIe av. J.-C. Les sceaux (cylindres en lapis-lazuli et en cornaline sombre) sont de l'époque d'Agadé (2300 av. J.-C.). Le sceau (cylindre en serpentine vert foncé, avec l'empreinte du déroulement) date de 2100 av. J.-C. Le dernier, non gravé, en améthyste, est intéressant, car il a été abandonné en cours de fabrication à cause de la mauvaise jonction des deux trous percés de chaque côté du cylindre (Louvre, Paris).*

les topazes, encore que cette liste ne soit pas exhaustive et que chaque espèce présente un grand nombre de variétés.

* Des agglomérats de cristaux laissant plus ou moins passer la lumière : pierres de lune, jades, calcédoines, etc., et des agglomérats opaques s'apparentant plus aux roches qu'aux cristaux, tels que turquoises, malachite, lapis-lazuli.

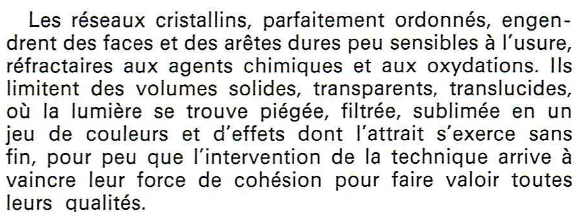
* Enfin à une troisième catégorie se rattachent les substances d'origine organique : ambre, jais, corail, ivoire, et surtout les perles naturelles ou cultivées.

Ces matériaux furent différemment appréciés selon les époques, les facteurs économiques, les enthousiasmes dus à la mode et aux liaisons que les voyageurs établirent avec des pays lointains. Leur beauté, leur couleur, leur rareté et leur poids, puisqu'il faut bien admettre que la grosseur d'une pierre est un facteur de rareté, firent toujours partie des critères de sélection. Mais les raisons principales de leur succès résident, comme pour les métaux précieux, dans leur nature même.



Bavestrelli - Bevilacqua - Prato

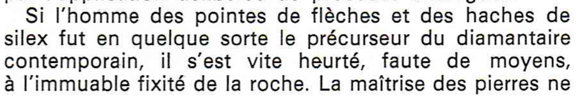
◀ *Malachite du Katanga (collection Schubnel).*



Les réseaux cristallins, parfaitement ordonnés, engendrent des faces et des arêtes dures peu sensibles à l'usure, réfractaires aux agents chimiques et aux oxydations. Ils limitent des volumes solides, transparents, translucides, où la lumière se trouve piégée, filtrée, sublimée en un jeu de couleurs et d'effets dont l'attrait s'exerce sans fin, pour peu que l'intervention de la technique arrive à vaincre leur force de cohésion pour faire valoir toutes leurs qualités.

### Travail des pierres

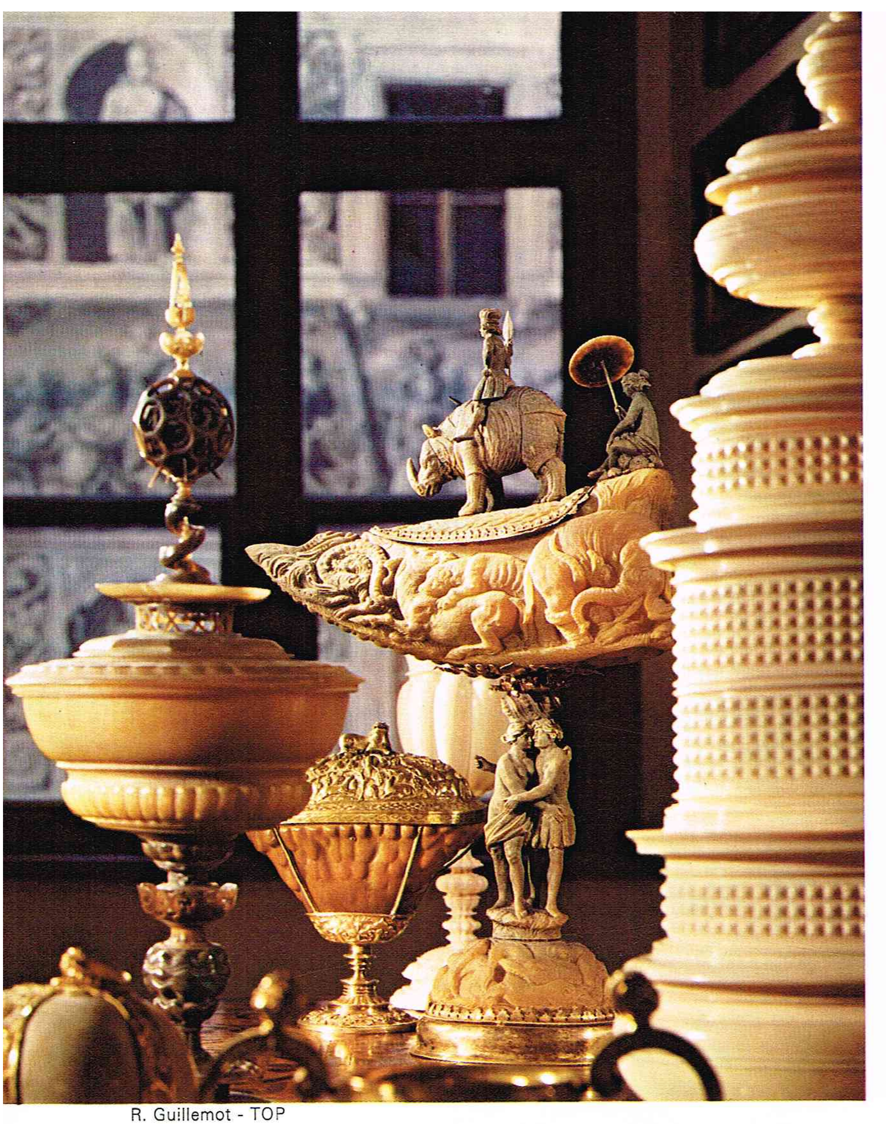
Si le premier avantage que la pierre offrit à l'homme fut sa dureté, ce fut aussi le premier obstacle qu'elle lui opposa, cependant la nature elle-même, moins marâtre qu'on a bien voulu le dire, lui a fait entrevoir les moyens de contourner la rigueur de sa loi. Seuls les procédés scientifiques récents ont permis d'établir les particularités de chaque système cristallin, avec ses axes de symétrie et de croissance, les constantes angulaires et les plans de plus ou moins grande cohésion, qui permettent le clivage. Mais dans la nature, sous l'action de chocs fortuits ou de changements brusques de températures, le clivage se produit spontanément, livrant des traces visibles à un œil attentif. L'observation de ces marques sur le cristal indique comment agir pour contrôler l'effet provoqué par l'application délibérée de procédés analogues.



Si l'homme des pointes de flèches et des haches de silex fut en quelque sorte le précurseur du diamantaire contemporain, il s'est vite heurté, faute de moyens, à l'immuable fixité de la roche. La maîtrise des pierres ne

C. Bevilacqua

◀ *Cristal de topaze bleue sur gangue, Sibérie (E. N. S. M.).*



R. Guillemot - TOP



P. Hinous - TOP

▲ *A gauche, ivoires sculptés (château d'Ambras, Autriche). A droite, main surmontant un reliquaire ouvragé du XIIe siècle (St-Saens, Rouen).*

s'est exercée que petit à petit et en commençant par les plus tendres d'entre elles. Le corail apparaît en incrustations dans les armes des guerriers celtiques. De l'Orient, de l'Inde, où les gisements furent toujours abondants, de la Chine arrivaient les turquoises et les jades des attributs royaux et des intailles pour les sceaux. En Chine, les jades furent sculptés à une époque très ancienne et polis avec une grande perfection, mais il est bon de signaler que le jade fraîchement extrait est relativement tendre; c'est l'exposition à l'air qui lui confère une dureté croissant avec le temps.

En gemmologie, on mesure la dureté d'un minéral par comparaison avec des minéraux de référence selon l'*échelle de Mohs*, de 1 pour le talc qui se laisse rayer par tous les minéraux, à 10 pour le diamant qui ne peut être entamé que par lui-même. Ces échelons successifs de dureté ne tiennent pas compte des écarts existant entre eux. Ainsi, le diamant 10 est 140 fois plus dur que le corindon 9, alors que celui-ci n'est que 6 fois plus dur que la topaze 8. Bien qu'elle ne corresponde pas à des unités de mesure, comme le fait la méthode Rosival, cette échelle se révèle plus pratique, car elle donne des indications situant immédiatement une variété de pierre par rapport aux autres et par rapport aux produits et aux outils qu'elle aura à affronter au cours de la réalisation d'un objet.

● *Clivage et sciage*

Le *clivage* est un moyen d'éviter la mise en œuvre d'une force colossale pour façonner le volume, mais la dureté n'en reste pas moins l'adversaire majeur, car elle s'oppose à l'usure nécessaire à la modification des volumes résultant du clivage et à celle des surfaces pour un polissage indispensable à la vivacité de l'éclat, de la transparence et de la couleur.

Or, cette *usure* ne peut s'effectuer que par l'emploi de corps plus durs que celui que l'on entend traiter. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des poudres de cristaux durs : corindon et silice sont les principaux abrasifs. Dès la plus haute antiquité, on utilisa l'émeri et le tripoli. Le sable, la pierre ponce, la craie, l'ocre, le blanc de Meudon et le blanc d'Espagne, les terres de diatomées, dites ardoises à polir, étaient connus et faisaient déjà l'objet du négoce. Pilés plus ou moins finement, à sec, ou additionnés d'eau, de graisse ou d'huile d'olive, amalgamés à de la cire, ils constituent des pâtes à polir d'une bonne efficacité. Le choix d'une gamme de grains de dureté et de grosseur décroissantes permet de nuancer le travail : dégrossissage et usure de la pierre au début, ensuite ponçage, et polissage toujours plus fin jusqu'à obtention d'un beau lustrage pour la finition.

Ces abrasifs étaient employés à l'aide d'instruments fort simples, outils façonnés dans de la pierre, bâtonnets en buis, peaux, fibres végétales, burins, forets et meulettes en métal enserrant peut-être des éclats de roches dures, et, comme outillage lourd, meules et roues en pierre. Cet ensemble suffisait à façonner des formes simples, plaques, cylindres, cabochons, à les percer et à les graver.

La glyptique, ou art de graver sur pierre fine, fut à l'honneur dans toutes les civilisations antiques, mais elle ne paraît pas avoir été en mesure de s'attaquer à des variétés plus dures que les roches siliceuses. Émeraudes à peine plus dures que le quartz et corindons avaient droit au « respect », et l'on considérait même comme sacrilège la moindre tentative à leur encontre.

Quant au diamant, l'on n'en constate point la présence dans les ouvrages précieux. Son existence est mentionnée par les savants grecs comme une curiosité. Ses propriétés étonnaient. Son nom, en grec *adamas*, signifie indomptable. Même sa rareté ne lui a pas valu la place d'honneur que détenait la perle, cette reine des mers, que la superbe Cléopâtre fit dissoudre dans du vinaigre pour mieux éblouir et souligner le prestige de sa propre majesté. Pourtant l'Inde recelait des diamants, et si l'on en croit Pline, Chypre, la Macédoine et l'Éthiopie également. Connu pour son extrême dureté, a-t-il seulement été utilisé pour sa capacité à entamer les autres minéraux? Cela est peu probable; les progrès de la technique à ce niveau furent lents et laborieux.

Venu de l'Orient avec les pierres, l'art de modifier leur forme et de les polir s'était étendu à travers l'Asie Mineure, l'Égypte, la Grèce et l'Étrurie, jusqu'à l'Occident, mais il resta longtemps dans cet état élémentaire. Le changement s'opéra au moment des croisades. Par piété, non par goût du luxe, des pierres jusque-là inconnues furent

rapportées en Occident. Destinées à l'orfèvrerie religieuse, il fallut, pour la gloire de Dieu et des saints, leur conférer par un travail perfectionné des qualités transcendantes. Guildes et corporations virent le jour un peu partout en Europe, reflétant l'existence de centres de transformation indépendants des gisements, et dont certains persistent encore. Châsses et reliquaires s'enrichirent, en plus des cristaux de roches, des agates et des améthystes antérieurement employés, de grenats, puis de béryls et de saphirs. Un saphir important orne déjà le talisman de Charlemagne; il est taillé en cabochon, et accompagné d'un entourage de pierres plus petites, grenats, perles fines et émeraudes. Quant à l'éblouissante et fameuse Pala d'Oro de San Marco à Venise, commandée au Xe siècle, puis enrichie et remaniée plusieurs fois, elle finit au XIVe siècle par être ornée de quelque deux mille pierres dont certaines présentent des tailles facettées.

L'apparition des premières facettes semble correspondre à l'importation des premiers diamants. Dès le Moyen Age, des comptoirs pour le commerce (dont l'un se situait à Anvers), des ateliers réputés étaient détenus par les Vénitiens, et c'est probablement l'un d'entre eux, Perruzzi, qui aurait réalisé les premières tailles de diamants. A son tour, Louis de Berchem, en 1475, aurait amélioré le procédé, et c'est à lui que l'on devrait l'utilisation de l'égrisé (diamant pulvérisé) et la mise au point d'une taille à 32 facettes. Une fois de plus, la connaissance empirique ouvrit la voie à la connaissance scientifique. La pratique suivie du clivage, de la taille, l'amélioration du polissage permirent de mieux observer les cristaux et d'établir avec certitude les règles dont le respect conditionne une taille rationnelle.

Le clivage se fait selon des angles constants et caractéristiques. L'existence de directions privilégiées dans un cristal montre que la cohésion n'est pas la même dans tous les plans; il est indispensable de situer les plans de moindre résistance, tant pour le clivage que pour l'attaque à la meule si l'on veut procéder à des sciages. Plus particulièrement quand il s'agit du diamant, cristallisant en octaèdre, il ne se laissera entamer que par lui-même, mais à condition que l'attaque s'opère de biais.

Le sciage à plat sur les faces de l'octaèdre est impossible. Il se fait le plus facilement soit par un plan passant par quatre sommets, c'est le *sciage quatre pointes*, soit par un plan perpendiculaire à une arête et passant par deux sommets, c'est le *sciage deux pointes*. Ce dernier exige deux fois plus de temps que le précédent (*fig.* 1).

La dureté joue non seulement un rôle important pour la conservation de la beauté conférée par la taille (grâce à elle, surfaces polies et arêtes restent intactes, ménageant le jeu de la lumière), mais elle est directement responsable de l'aspect de la pierre. Il y a un rapport de cause à effet entre la dureté et les propriétés optiques, qui font le charme et le pouvoir de fascination des gemmes. Dès 1639, le naturaliste danois Stensen avait noté la constance des valeurs angulaires pour certains cristaux. Vers la fin du XVIIIe siècle, l'abbé Haüy, minéralogiste français, conçut les bases de la cristallographie. En 1912, on put, par des radiogrammes, rendre manifeste la structure fine cristalline d'une sphalérite. Depuis lors, la connaissance gemmologique et les techniques lapidaires ont franchi de multiples étapes, et cela d'autant plus vite que le développement industriel a mis à leur disposition des moyens à peine imaginables il y a un siècle ou deux.

Point n'est besoin de prendre des risques inconsidérés, de détériorer un beau spécimen. Les laboratoires sont munis de filtres sélectifs de rayons ultraviolets et infrarouges, de spectroscopes, d'appareils à rayons X, de microscopes polarisants. Les pierres peuvent être soigneusement inspectées, et il est facile de déceler inclusions valorisantes ou indésirables, plans de macle, plans de clivage, tout ce dont le lapidaire ou le diamantaire devra tenir compte. Le plus souvent, l'œil exercé du technicien suffit à l'examen et permettra de déterminer comment tirer parti de la matière en limitant la perte de poids, sans négliger l'aspect esthétique de sa démarche, qui vise à l'exaltation des rayons lumineux et de la couleur, et qui est étroitement lié aux autres propriétés physiques du réseau cristallin.

Dureté, cohésion et densité des atomes sont proportionnelles. Inversement, plus la densité atomique est grande, plus la lumière aura de difficultés à franchir le barrage des plans d'atomes des faces du cristal. Celles-ci joueront comme des miroirs, donnant à la pierre ce que l'on appelle de l'éclat. Mieux la surface est polie, plus elle est réfléchissante et brillante. On définit l'éclat d'une pierre par comparaison : on dit qu'elle est adamantine, soyeuse, nacrée, résineuse, vitreuse, métallique, etc.


J. Guillot - TOP

▲ ***Talisman de Charlemagne, IXe siècle : un pendentif d'or enchasse un gros saphir clair entouré d'émeraudes, de perles et de grenats montés en bâtes entourés de filigranes d'or.***

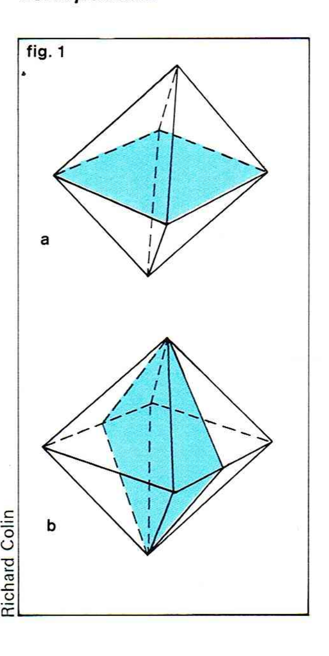
Une partie seulement de la lumière qui arrive à la surface d'une gemme est réfléchie et contribue à son éclat. Une autre partie est dans tous les cas plus ou moins absorbée, donnant toutes les variantes de translucidité, de l'opacité totale à la transparence de la plus belle « eau ». La partie complémentaire qui réussira à pénétrer à l'intérieur de la gemme va se trouver dans un milieu différent, et sa vitesse de propagation sera ralentie : c'est le phénomène de la *réfringence*. Le retard infligé aux photons de la lumière par les électrons de la masse cristalline dépend de la plus ou moins grande densité des atomes présents. Plus le nombre de photons retenus dans la gemme est important, plus l'œil perçoit une sensation de luminosité. Le diamant, présentant la plus grande densité d'atomes, cumule donc toutes les qualités; il est le plus dur, le plus lumineux et offre un maximum d'éclat.

Pour un faisceau lumineux qui pénètre dans la pierre, la modification de sa vitesse de propagation s'accompagne d'une déviation de la trajectoire qui dépend du rapport des vitesses de propagation dans la gemme et dans l'air. Selon le type de cristal considéré, le faisceau lumineux reste unique en milieu isotrope (spinelles, grenats, diamants), ou bien il se décompose en deux rayons ayant chacun une vitesse de propagation différente en milieu anisotrope (quartz, corindons, béryls, topaze).

La composition spectrale de la lumière du jour ajoute encore à la complexité du phénomène, car, pour chaque couleur du spectre, la vitesse de propagation est différente, et de ce fait les rayons correspondants sont réfractés différemment. D'où des effets optiques extrêmement nuancés; la lumière se disperse à l'intérieur de la gemme et, à sa sortie, s'étale en une infinité de reflets colorés.

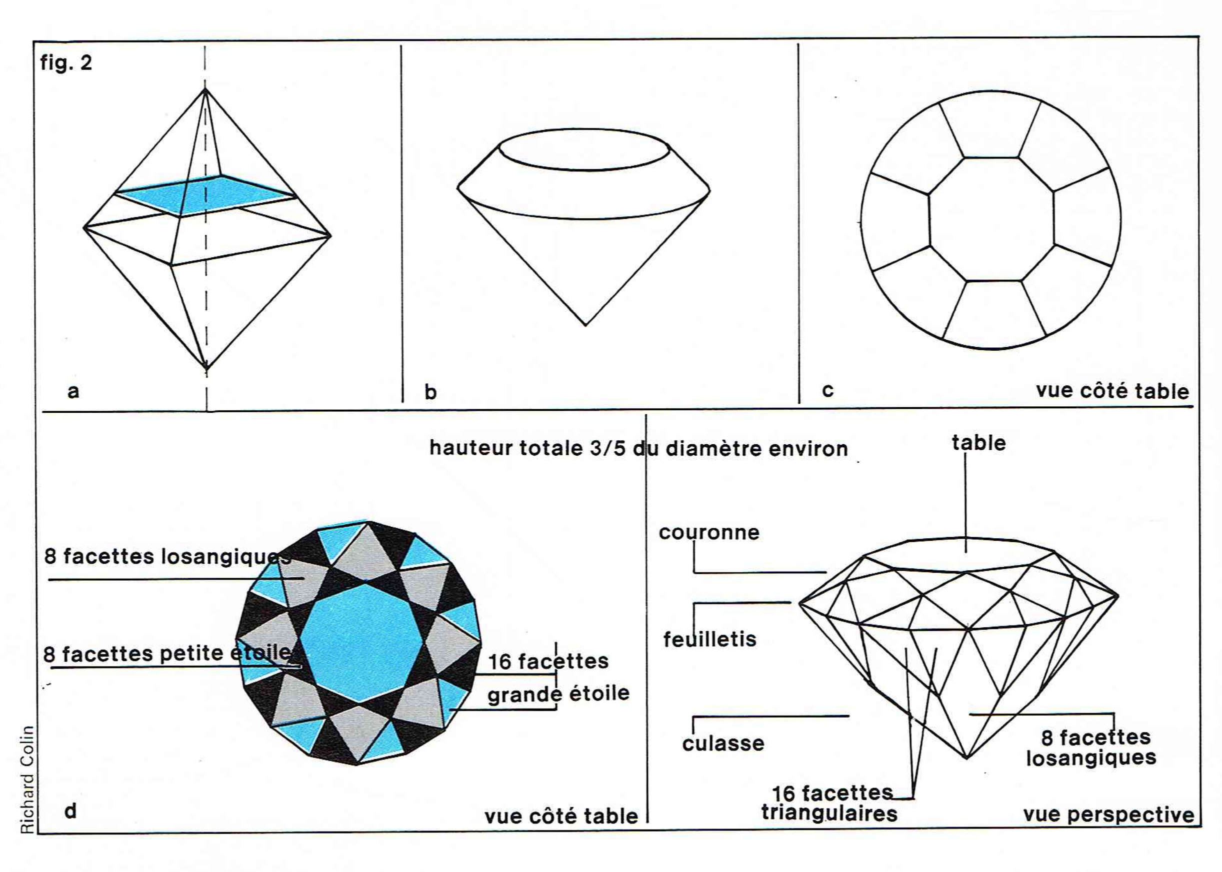
L'art du lapidaire, bien qu'il relève aujourd'hui plus de la spéculation mathématique que de l'art à proprement

▼ ***Figure 1 : a, plan de sciage quatre pointes. b, plan de sciage deux pointes.***



Richard Colin

▶ *Figure 2 : taille du diamant, dite en brillant.*
a et b, *préparation de la table ;*
a, *à partir de l'octaèdre par sciage quatre pointes ;*
b, *par ébrutage au touret suivi d'une « mise en croix » de la toupie ainsi obtenue afin de la ramener à une forme analogue à celle de* a.
c, *mise en huit-huit par usure des quatre arêtes longitudinales de la pyramide de* a *ou des côtés correspondants sur la toupie* b.
d, *facettage par usure des arêtes ou de leur point de rencontre afin d'obtenir le brillantage à 56 facettes.*

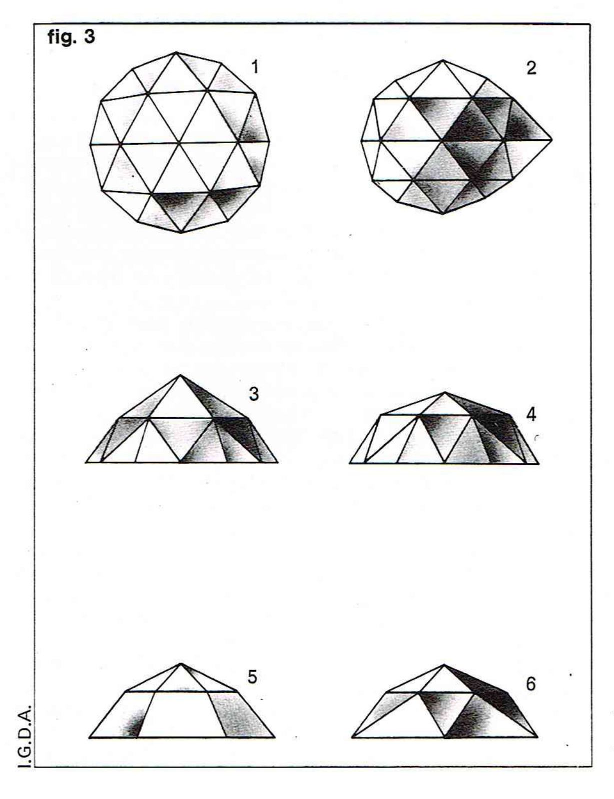


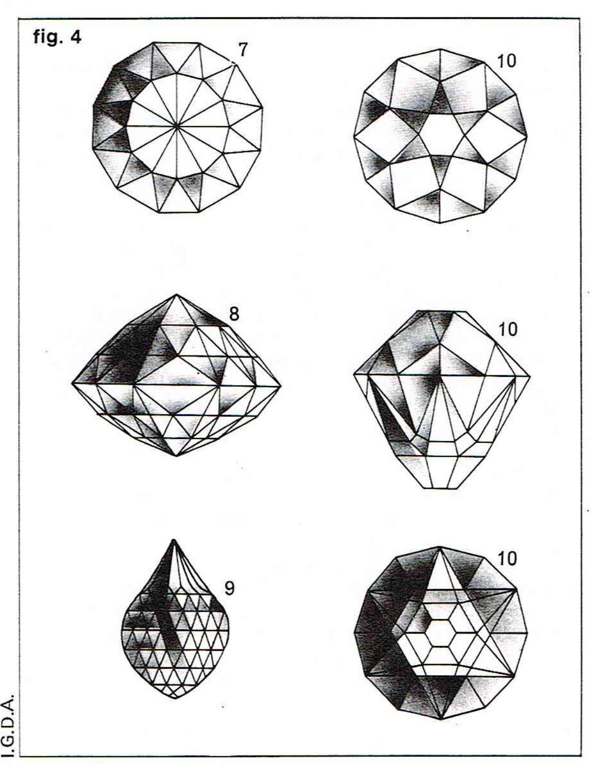

parler, consiste à porter les qualités optiques d'une pierre à leur degré le plus élevé. Le rôle de la taille est de conserver un maximum de lumière dans le cristal. Toute l'habileté consiste à piéger le faisceau de lumière entrant dans la pierre de telle sorte qu'il ne puisse ressortir aussitôt, mais qu'il se réfléchisse à l'intérieur de la gemme, augmentant sa dispersion, pour retomber sur une autre facette qui, à son tour, peut en réfléchir une partie, si bien qu'au flot de la lumière entrante s'ajoute la lumière en circulation faisant de la pierre taillée une sorte de cage où la lumière est forcée de se concentrer, de se décomposer, de multiplier tous ses effets et ses feux. Ceux-ci seront d'autant plus intenses que l'indice de réfraction est élevé.

● *Taille et couleur*

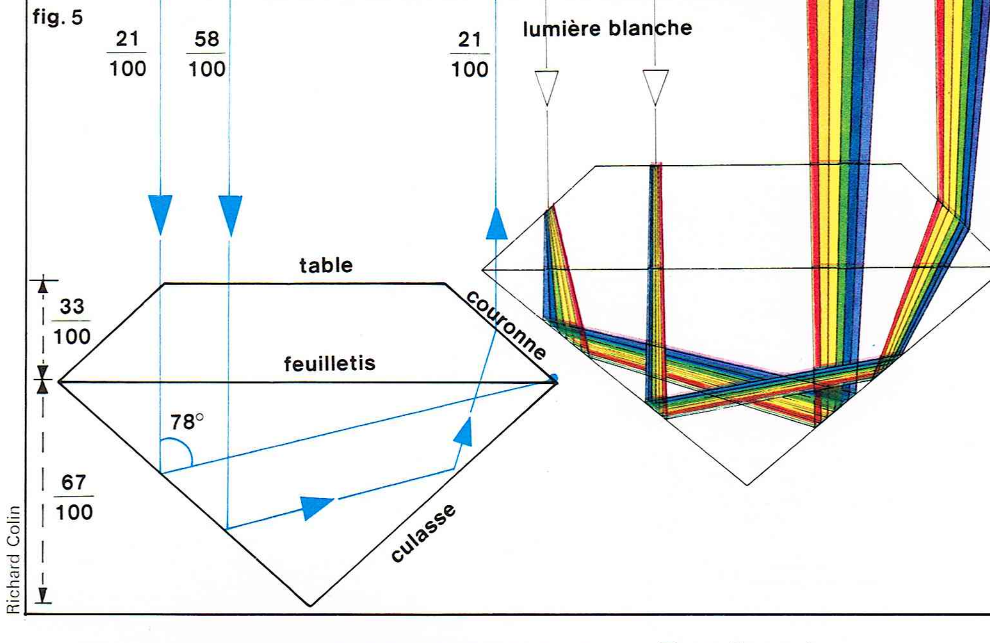
La *taille* du diamant, dite *en brillant*, illustre parfaitement ce phénomène ; l'observation scrupuleuse d'angles permettant la réflexion totale conduit à une forme idéale dont les proportions sont fixées par les lois de l'optique (*fig.* 2).

Cette taille en brillant est conçue pour que tout rayon ayant pénétré perpendiculairement par la « table » ressorte par la « couronne » et inversement, les facettes de la culasse formant une barrière pratiquement infran-




▶ *Figures 3 et 4 : autres tailles du diamant ; 1 à 9 : taille « en rose » ; 8 : taille en « double rose » ; 10 : taille « en étoile ».*




▲ *Figure 5 : tracé du parcours des rayons lumineux dans un brillant.*

chissable. Quand on regarde un brillant de dessus, on a l'impression que les facettes de la culasse sont des miroirs. La taille en brillant est aussi celle qui assure la meilleure dispersion des rayons; plus importante, il y aurait irisation; plus faible, les feux ne seraient pas nets.

Le lapidaire ne se borne pas à retenir un maximum de lumière dans la gemme, il doit aussi en souligner les qualités particulières, et notamment l'intensité de la couleur. Blanche quand elle arrive sur la pierre, la lumière est un flux complexe de vibrations, que les plans d'ions de la structure cristalline soumettent à des modifications, tendant à éliminer ou à renforcer certaines d'entre elles. Au sortir de la gemme, la composition spectrale de la lumière peut être nettement différente. On dit que la pierre est rouge, verte ou bleue... La couleur n'est qu'exceptionnellement liée à la nature du cristal. Il existe des diamants ocre, verts et roses, comme il existe des topazes bleues, des saphirs incolores et des grenats verts. Mais la qualité de la nuance colorée de telle variété, de telle provenance, est parfois si spécifique qu'elle devient symbolique, éclipsant jusqu'à l'existence de ses semblables, même si ces dernières sont en fait plus répandues dans les gisements.

L'intensité de la couleur est généralement un facteur de prix. Une bonne taille peut renforcer la coloration ou la mieux répartir. Elle peut aussi attirer l'attention sur certaines particularités de cristallisation, sur des anomalies, sur la présence de cristaux étrangers imbriqués dans l'édifice cristallin et qui ajoutent leur charme insolite à la beauté de la pierre. Irisations, opalescences dues à des dispositions lamellaires de cristaux, chatoiement et astérisme, dus à des inclusions fibreuses, givres de guérison, plans d'accroissement ou de décollement du cristal, pléochroïsme inhérent à la nature de la pierre et se traduisant par la vision de couleurs différentes selon l'angle d'observation, tout cela fait vivre la pierre, la personnalise et ajoute encore à son attrait.

● *Techniques modernes*

La technologie actuelle est propre à assurer une grande liberté d'intervention sur les pierres précieuses, et une grande perfection des résultats. Les machines, indispensables dans ce domaine, sont bien conçues, réalisées dans des alliages spécialement étudiés, pourvues de moteurs tournant à des vitesses très élevées et réglables en fonction du matériau traité et de l'abrasif employé; enfin, elles bénéficient de toutes les possibilités d'automation.

On ne se contente plus de prélever les abrasifs dans la nature, on pourvoit à leur fabrication. Le rouge à polir utilisé pour les métaux est un oxyde chimique de fer. Le vert, de dureté 8 à 9, est un oxyde chimique de chrome. Le carborandum est un carbure de silicium. L'électrocorindon fabriqué par synthèse est plus dur que le corindon naturel. Oxydes de chrome et métaux durcissants, carbures de bore et de tungstène, alumines traitées viennent compléter la gamme naturelle, le plus efficace de tous restant le diamant pulvérisé, naturel ou de synthèse.

Les poudres ainsi fabriquées sont calibrées, présentées telles quelles, encollées sur des supports adaptés aux machines, incorporées, pour faire des meules, à des produits qui vont de la mousse plastique la plus douce aux caoutchoucs et jusqu'aux métaux durs pour les granules de diamants. Ici aussi, l'empirisme est dépassé; les produits obtenus sont testés à des vitesses différentes et les traces laissées sur les matériaux examinées avec des microscopes électroniques ou à interférences. L'on pousse la minutie jusqu'à mesurer la profondeur de ces traces afin de mieux déterminer les vitesses opératoires.

### Pierres naturelles et pierres de synthèse

Le prestige dont ont toujours joui les pierres fines a fait que l'on a cherché par tous les moyens à se les approprier. De même que pour les métaux précieux, des moyens gigantesques sont mis en œuvre pour exploiter les gisements connus et pour en découvrir de nouveaux, et leur exploitation se fait aussi simultanément à celle d'autres gemmes ou d'autres minerais utiles à l'industrie.

Les diamants utilisables en bijouterie abondent dans les trouées cylindriques de l'écorce terrestre, dites *cheminées diamantifères*, résultat de phénoménales explosions volcaniques; ils sont accompagnés d'olivine, de quartz et de diamants de qualité moindre à usage industriel. Ces cheminées se situent principalement en Afrique du Sud. Ailleurs, l'érosion les a entraînés dans des gîtes alluvionnaires : Afrique centrale, Inde et Brésil.

Les corindons viennent de l'Inde, de Ceylan, de la Birmanie, du Siam, d'Australie; les béryls, du Brésil principalement. Les autres pierres d'un peu partout. A certaines régions s'attache la réputation de très belles variétés, mais aucune n'a l'exclusivité d'un type de gemme. L'émeraude n'existe pas seulement en Colombie, le rubis au Siam et le saphir en Birmanie. Chaque région du monde cache dans son sol des multitudes de cristaux précieux ou modestes. Ceylan, Madagascar et l'Inde sont réputés pour leur richesse en pierres de toutes sortes. Pourtant, seul le diamant a une réelle importance économique. Il représente 80 à 90 % de la production mondiale de pierres précieuses. En fait, il est moins rare que les rubis, saphirs et émeraudes pour lesquels un épuisement des gîtes connus serait à craindre dans un proche avenir.

La science, qui n'a cessé d'apporter de nouveaux procédés aux techniques d'extraction et de transformation, devait fatalement tenter de reproduire ces merveilles que la nature ne livre qu'avec parcimonie et au prix de tant d'efforts.

Pour l'or, nul n'ignore les tentatives des alchimistes. La légende veut qu'elles aient été parfois couronnées de succès. Mais si l'on a perdu la recette de la poudre de projection, les perspectives de la physique nucléaire ne semblent pas contredire l'éventuelle transmutation du plomb, ou d'un autre métal en or, bien que nulle recherche ne soit orientée en ce sens.

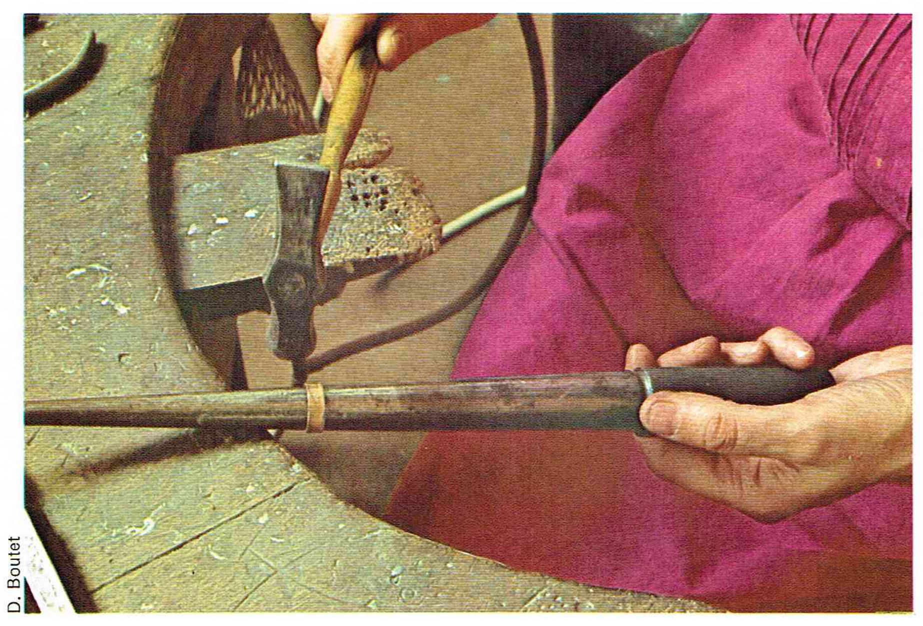
En revanche, pour ce qui est des gemmes, depuis la fin du siècle dernier où l'on réussit la reconstitution du corindon à partir de débris naturels que l'on fusionnait, et depuis l'invention de Verneuil, qui procéda à une véritable synthèse de l'alumine en présence d'oxydes pour en assurer la coloration, des améliorations successives n'ont cessé de parfaire la qualité des cristaux de synthèse et ont fait de leur production une véritable industrie.

Corindons, émeraudes et spinelles sont reproduits dans des fours. Quant aux diamants, ils réclament des températures et des conditions de pression si élevées que les résultats sont moins satisfaisants. On réussit surtout des pierres de très petites dimensions et de qualité médiocre, qui ont leur place dans l'industrie; tout laisse prévoir que, dans des délais peu éloignés, on pourra compter sur des cristaux plus purs et plus volumineux à usage ornemental.

Les pierres de synthèse présentent, à peu de chose près, toutes les caractéristiques physiques de leur modèle naturel, et leur façonnage s'effectue dans les mêmes conditions. On pourrait considérer que leur aspect est tout aussi satisfaisant, si ce n'est plus : l'on n'a pas lésiné sur la dimension des cristaux ni sur les oxydes assurant la coloration; de plus, sont évités ici les impuretés, les défauts de cristallisation et les obstacles rencontrés dans la nature. Les pierres sont pures : elles ne présentent pas ce que la joaillerie moderne considère comme des défauts. Même pour l'œil exercé du spécialiste, la différence à peine sensible est peu aisée à établir, il faut de plus en plus le secours des appareils de laboratoire, et encore doit-on se garder d'interpréter leurs données sans une grande circonspection. Pourtant, pour l'amateur de



D. Boutet



D. Boutet

▲ ***En haut, panoplie des outils de l'orfèvre. Ci-dessus, forgeage à la main d'une bague.***

▼ ***A gauche, l'orfèvre au travail. A droite, bague (création Costanza. Collection Sophie Boubat).***

minéraux nobles, il y a loin de la pierre synthétique à la pierre fine.

L'intervention de la technologie, avec son cortège impressionnant d'appareils et de machines, apporte un type de perfection qui se paye par la vacuité du produit. Prodigieuses sont la possession du secret des métamorphismes minéraux et la connaissance approfondie des lois de l'optique. Mais où situer le plus grand prodige ? dans le creuset de l'industrie, dans l'existence du cristal idéal ou dans celle du cristal qui a pu naître et croître au milieu d'innombrables difficultés au sein de la terre ? Le prodige n'est-il pas plutôt dans les mille reflets cuivrés des paillettes d'oligiste qui parsèment les grenats, dans les impalpables fils de byssolithe, dits cheveux de Vénus, qui se déploient dans la limpidité des quartz ? N'est-il pas dans les minuscules pyrites qui étoilent une plaque de lapis-lazuli, dans les aberrantes cristallisations qui viennent se greffer dans une texture étrangère : petit cube de grenat visible au cœur d'un diamant, ou minuscule cristal de diamant à l'intérieur même d'un diamant ? Autant d' « accidents » faisant de la pierre un individu pourvu d'un charme et d'une personnalité propres.

Le prodige est-il le savoir-faire qui ramène toutes les pierres de joaillerie à un modèle standardisé, ou tout simplement ce fait que trop de gens, profanes ou professionnels, ignorent : la beauté des gemmes à l'état brut — cristal natif sorti de sa gangue, diamants roulés aux formes voisines de l'octaèdre, bâtonnets hexagonaux de béryl, prismes de quartz surmontés d'une pointe pyramidale ?

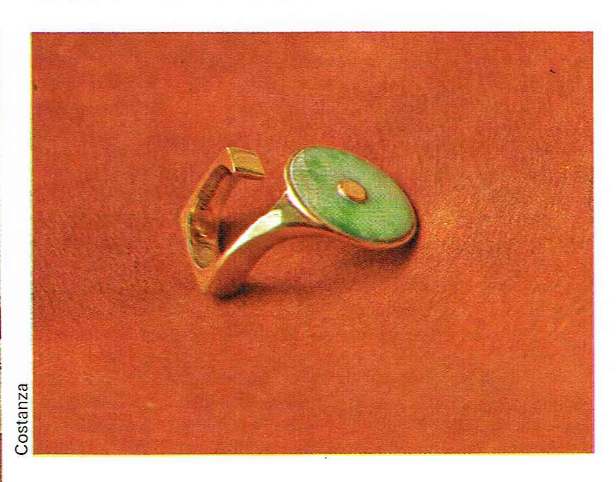
La magie de la technologie a substitué à l'expression harmonieuse d'un certain état de la matière et à l'acte magique un type de perfection qui ôte au produit tout pouvoir d'envoûtement. La norme ramène la plus belle des choses à une effrayante banalité. La taille contraint les gemmes à une uniformité standardisée. Des moules sortent, quasi finis, des modèles munis de chatons dans lesquels on insérera au hasard des besoins commerciaux n'importe quelle pierre. En la confrontant à ce que l'on connaît du passé et de sociétés ayant une vie spirituelle intense, on serait tenté de penser que la joaillerie moderne vit sur une imposture. Cela ne nuit en rien à sa prospérité, bien au contraire, puisqu'elle n'est que le reflet de la société à laquelle elle s'adresse, où la loi est celle de la productivité, du profit et de la norme, société où le système de production étouffe toutes les possibilités de projets porteurs de différences, en faveur des nivellations d'identités.

L'esthétique arrive parfois à sauver ses droits, on « fait » du joli, on « maquettise » et on « design ». Mais cela peut-il suffire pour un type d'objets où l'important n'est pas seulement ce qui paraît ? De nos jours, bien rares sont les objets précieux, même ceux qui, comme le bijou, restent au contact du corps, qui s'adressent plus à la sensibilité profonde d'un être qu'à son entendement et à sa vanité. On les préfère comme signe extérieur d'un niveau social et, dans le meilleur des cas, culturel, mais ils sont le plus souvent démunis d'un sens spirituel et cosmique. Les résonances profondes entre les matériaux, le geste de l'artisan et le rythme intérieur de l'individu qui vivra au contact de l'ouvrage sont ignorés. Alors que l'esthétique procède du raisonnement, l'acte plastique est une grâce, et à l'heure où la recherche de pointe en physique a pu constater que tout n'est que rapport de vibrations dont une faible partie seulement semble identifiée, tout porte à croire qu'il entretient une relation avec ce qui reste dans l'ombre et n'en existe pas moins.

Valeur d'exceptionnalité, la beauté capte les forces occultes éparses dans l'univers, unissant les fluides que véhicule le cosmos aux composants choisis pour leur pouvoir de réception, et, par le truchement de la forme, elle relie forces physiques et mystiques en un flux de radiations influent et continu.



D. Boutet



Costanza

# L'ÉCLAIRAGE

Depuis la plus haute antiquité, les hommes ont assuré l'éclairage de leurs lieux d'habitation. Ce furent en premier les flammes des foyers et des brasiers qui étaient montés sur des trépieds de manière à assurer un meilleur éclairement en surélevant le niveau des sources lumineuses par rapport au sol. Cette disposition était d'ailleurs favorable à la sécurité, car des foyers à même le sol risquaient de mettre le feu aux vêtements.

On vit apparaître ensuite des torches, soit portées à la main au cours des déplacements, soit fixées aux murs, des lampes à huile (dont on a retrouvé certains spécimens datant des Phéniciens) et des chandelles faites de suif. Les premières chandelles semblent dater du IV$^{e}$ siècle. Ces procédés avaient un rendement médiocre, et l'on imagine aisément le faible niveau d'éclairement que l'on obtenait dans des salles de châteaux ou de palais. Quant aux artisans, ils ne travaillaient qu'à la lumière solaire.

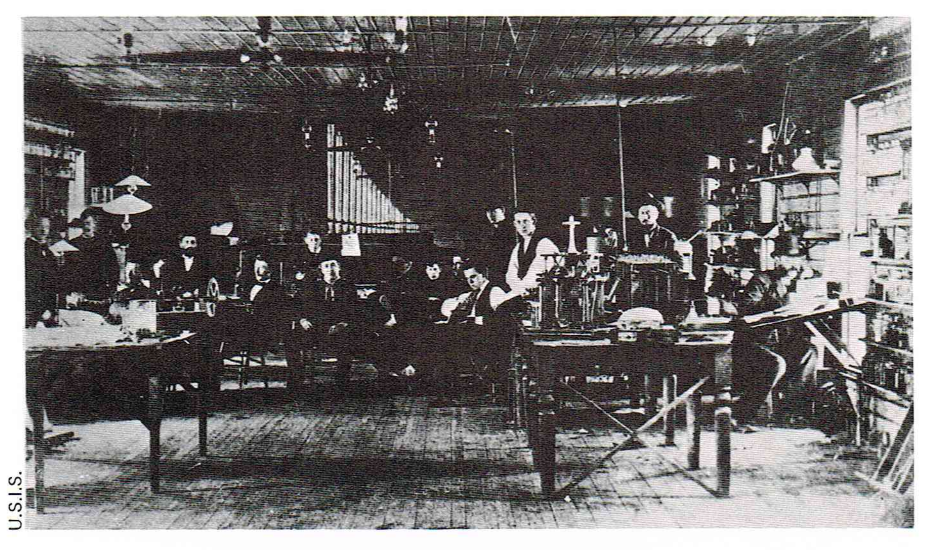
Dans les villes, les rues n'étaient pas éclairées; on ne trouvait des chandelles qu'aux lieux de débauche ou à l'emplacement des statues pieuses. En 1524, il était recommandé de placer une lanterne aux façades des maisons au niveau du premier étage. En 1667, La Reynie demande que des lanternes soient placées aux extrémités et au milieu des rues; on en comptait 5 772 à Paris en 1721.

En 1787, un ingénieur et chimiste français, Philippe Lebon, découvre le gaz d'éclairage. En 1797, il commence ses essais avec le gaz provenant de la distillation du bois et communique sa découverte à l'Institut. Un brevet d'invention est déposé le 28 septembre 1799, relatif aux « thermolampes ». Cette découverte est appliquée en 1805 pour éclairer les manufactures. En 1810, Davy invente la lampe à arc qui est constituée de deux électrodes de charbon de cornues placées bout à bout et fait une démonstration devant la Société royale de physique de Londres. Louis XVIII autorise, en 1817, l'éclairage au gaz du passage des Panoramas par Windsor. La substitution du gaz à l'huile est généralisée en 1832.

En 1859, Sauter installe au sommet de l'arc de triomphe à Paris une lentille au centre de laquelle il place une source lumineuse. On peut dire qu'à cette date le projecteur est inventé.

En 1877, un Anglais, Swan, suivi en 1878 par un Américain, Edison, fabrique les premières lampes à filament de carbone. Le filament était constitué de fibres de coton ou de rubans de bristol carbonisés à l'abri de l'air. La fibre de bambou fut adoptée par Edison. Ces lampes ne fournissaient qu'une lumière jaune, car la température du filament ne dépassait pas 1 600 °C et l'efficacité lumineuse était de l'ordre de 3 lumens par watt. Il aurait fallu augmenter la température pour avoir une meilleure efficacité lumineuse et une meilleure teinte de couleur, mais on se heurtait à une difficulté due à l'évaporation du filament dans un récipient vide d'air. On utilisa alors des métaux comme l'osmium, ce que fit en 1898 Auer von Welsbach, puis le tantale, et enfin le tungstène (*tabl.* I).

C'est le tungstène qui donnait les meilleurs résultats; la température atteignait 2 100 °C et l'efficacité lumineuse était multipliée par trois. En 1913, Langmuire introduisit dans les ampoules un gaz inerte (azote ou argon) qui ralentit la volatilisation du filament, et permit d'élever la température vers 2 500 °K. En cette même année, Coolidge met au point un procédé de tréfilage du tungstène. Ainsi constituées, les lampes chauffaient, car des courants de convection, dus à l'atmosphère gazeuse, entraînaient la chaleur du filament vers l'ampoule. Pour les réduire, Langmuir remplaça le filament rectiligne par un filament spiralé, lequel fut remplacé ensuite par un filament à double spiralage (*fig.* 1). D'autre part, la conductibilité calorifique d'un gaz étant inversement proportionnelle à sa masse atomique, on utilisa le krypton et le xénon. Cela a permis d'atteindre des températures de 2 800 °K et des efficacités lumineuses de 16 lumens par watt.




▲ ***Le laboratoire d'Edison, Menlo Park, New Jersey, tel qu'il était en 1880. Les premières lampes à incandescence pendent au plafond et sont encore montées sur les supports de l'ancien éclairage au gaz.***

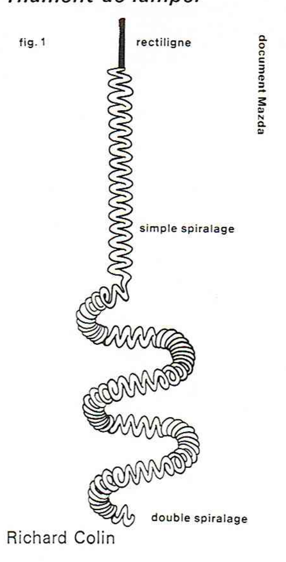
## *Nature de la lumière*

Rappelons brièvement qu'un rayonnement lumineux provient de la propagation d'ondes électromagnétiques qui ont pour origine l'association d'un champ magnétique $\vec{B}$ et d'un champ électrique $\vec{E}$ sinusoïdaux, en phase et rectangulaires. L'onde ainsi produite se propage à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde. Planck, en 1900, a exprimé la théorie des quanta dans laquelle on admet que la lumière est constituée de grains qui possèdent tous une même quantité d'énergie proportionnelle à la fréquence; Einstein a appelé ces grains d'énergie des photons. Ces deux théories des quanta et des ondulations sont à l'origine de la mécanique ondulatoire développée par Louis de Broglie et Schrödinger en 1927.

Ces ondes se caractérisent notamment par leurs longueurs d'onde qui sont comprises entre quelques millionièmes de micromètre et quelques kilomètres. Le *tableau* II donne les types de rayonnement en fonction de la longueur d'onde.

La couleur du rayonnement et la sensibilité de l'œil (différente selon les observateurs) varient suivant la lon-

▼ ***Figure 1 : filament de lampe.***




Richard Colin

▼ ***Tableau I : point de fusion de quelques métaux. Tableau II : types de rayonnement en fonction de la longueur d'onde.***

**Tableau I**

**Point de fusion de quelques métaux**

| Métaux | Température (en °C) |
|---|---|
| Cuivre | 1 084 |
| Fer | 1 400 |
| Platine | 1 770 |
| Osmium | 2 300 |
| Tantale | 2 900 |
| Tungstène | 3 350 |

**Tableau II**

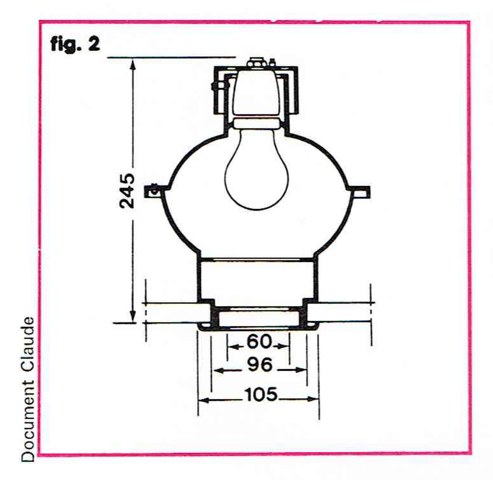
**Types de rayonnement en fonction de la longueur d'onde**

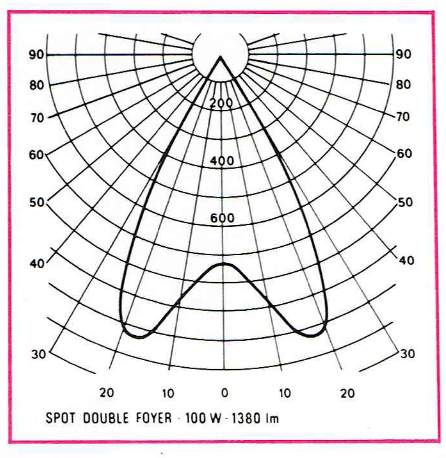
| Rayonnement | Longueur d'onde |
|---|---|
| Rayons X | $< 0{,}2$ nm |
| Rayons intermédiaires | 0,2 nm $< \lambda <$ 100 nm |
| Ultraviolet | 18 nm $< \lambda <$ 400 nm |
| Visible | 380 nm $< \lambda <$ 760 nm |
| Infrarouge | 0,8 µm $< \lambda <$ 300 µm |
| Ondes hertziennes | $\lambda >$ 100 µm |

## Tableau III
## Facteur de visibilité des différentes radiations

| Longueur d'onde (en Å) | Sensibilité | Longueur d'onde (en Å) | Sensibilité |
|---|---|---|---|
| 4 000 | 0,000 4 | 5 800 | 0,870 |
| 4 100 | 0,001 2 | 5 900 | 0,757 |
| 4 200 | 0,004 0 | 6 000 | 0,631 |
| 4 300 | 0,011 6 | 6 100 | 0,503 |
| 4 400 | 0,023 | 6 200 | 0,381 |
| 4 500 | 0,038 | 6 300 | 0,265 |
| 4 600 | 0,060 | 6 400 | 0,175 |
| 4 700 | 0,091 | 6 500 | 0,107 |
| 4 800 | 0,139 | 6 600 | 0,061 |
| 4 900 | 0,208 | 6 700 | 0,032 |
| 5 000 | 0,323 | 6 800 | 0,017 |
| 5 100 | 0,503 | 6 900 | 0,008 2 |
| 5 200 | 0,710 | 7 000 | 0,004 1 |
| 5 300 | 0,862 | 7 100 | 0,002 1 |
| 5 400 | 0,954 | 7 200 | 0,001 05 |
| 5 500 | 0,995 | 7 300 | 0,000 52 |
| 5 550 | 1,000 | 7 400 | 0,000 25 |
| 5 600 | 0,995 | 7 500 | 0,000 12 |
| 5 700 | 0,952 | 7 600 | 0,000 06 |

Ces valeurs sont les valeurs officielles, publiées par la Commission Internationale de l'Éclairage. Elles sont relatives à une moyenne de mesures effectuées sur un grand nombre d'observateurs.




▲ ***Tableau III :* facteur de visibilité des différentes radiations. *Figure 2 :* exemple de courbe polaire à répartition symétrique pour un appareil de révolution.**

gueur d'onde (*tableau* III). Le violet s'échelonne entre 380 nm et 439 nm, le bleu entre 439 nm et 498 nm, le vert entre 498 nm et 568 nm, le jaune entre 568 nm et 592 nm, l'orange entre 592 nm et 631 nm, et le rouge entre 631 nm et 760 nm. Quant à la sensibilité de l'œil, elle varie suivant une courbe appelée « courbe d'efficacité lumineuse relative » en forme de chapeau de gendarme, dont le maximum se situe à 555 nm.

### *Quelques unités fondamentales*

Les principales unités utilisées sont :

● **Pour le flux lumineux, le lumen,** dont la définition officielle est : « la grandeur caractéristique d'un flux de rayonnement exprimant son aptitude à produire une sensation lumineuse évaluée d'après les valeurs de l'efficacité lumineuse relative ». Ce qui intéresse l'éclairagiste, c'est l'effet lumineux du rayonnement et non l'énergie transportée. Il s'exprime en fonction de l'intensité lumineuse par la relation $dF = Id\Omega$. En d'autres termes, cela veut dire que le flux de la source est la somme de tout ce qu'interprète l'œil dans la bande visible.

On ne peut départager deux sources avec la seule notion de flux lumineux, car l'une d'elles peut émettre dans la bande de 555 nm un flux plus important, alors que l'autre offre, dans une bande plus large, une lumière mieux répartie, donc une meilleure qualité.

● **Pour l'éclairement, le lux,** qui est l'éclairement d'une surface d'un mètre carré recevant normalement un flux d'un lumen uniformément réparti. L'éclairage que l'on obtient avec un certain flux dépend de la surface sur laquelle il se répartit et est égal au quotient du flux lumineux F tombant sur une surface S :

$$E = \frac{F}{S}$$

Il faut se rappeler que l'éclairement varie en raison inverse du carré des distances, c'est-à-dire qu'une même source éclairera 4 fois moins une surface à 4 m qu'à 2 m de distance. D'autre part, l'éclairement varie avec l'angle formé par la surface avec la direction des rayons lumineux suivant la loi :

$$E' = E \cos \alpha$$

E' étant l'éclairement réel, E l'éclairement de la même surface perpendiculaire aux rayons lumineux, et $\alpha$ l'angle formé par le plan de la surface avec la perpendiculaire aux rayons.

● **Pour l'intensité lumineuse, la candela.** L'intensité lumineuse dépend de la répartition dans l'espace du flux lumineux. Conformément aux décrets du 28 février 1948 et du 3 mai 1961, on utilise des propriétés du radiateur intégral ou corps noir, et on définit la candela de la manière suivante : Une candela est l'intensité lumineuse, dans une direction déterminée, d'une ouverture perpendiculaire à cette direction ayant une aire de 1/60e de centimètre carré et rayonnant comme un radiateur intégral porté à la température de solidification du platine, soit 2 060 °K.

Avec la même lampe à incandescence, un projecteur et un globe répartissent différemment le flux dans l'espace en fonction de la direction. En effet, pour le premier, l'intensité lumineuse suivant l'axe est très importante et décroît très rapidement quand on s'éloigne ; pour le second, les intensités seront presque identiques dans toutes les directions.

Il est indispensable, pour un éclairagiste, de connaître ces répartitions. Les fabricants les fournissent avec des courbes appelées « courbes photométriques » ou « courbe de répartition angulaire de l'intensité ». Ce sont des courbes polaires à répartition symétrique si l'appareil est de révolution, et à répartition dissymétrique si l'appareil a plusieurs axes de symétrie comme les tubes fluorescents (*fig.* 2).

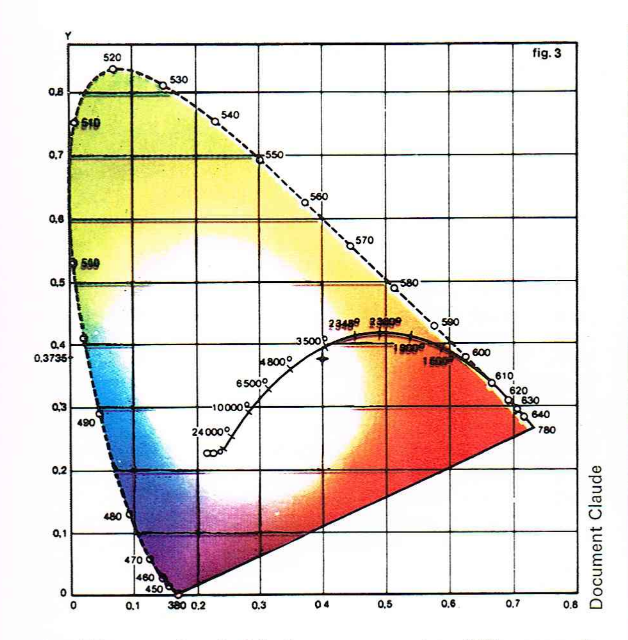
● **Pour l'efficacité lumineuse, le lumen par watt.** C'est une unité qui permet de rendre compte du bilan flux/consommation énergétique. Le *tableau* IV donne des grandeurs et les unités pour quelques exemples.

● **Pour la luminance, la candela par mètre carré.** La luminance d'une source lumineuse est le quotient de son intensité en candelas par sa surface en mètres carrés. Le *tableau* IV donne les unités fondamentales et quelques exemples.

### *La couleur*

Nous avons vu que le spectre visible s'échelonnait entre 380 nm pour le violet et 7 60 nm pour le rouge. Dans cette bande, on trouve toutes les combinaisons de couleurs. L'éclairagiste a à sa disposition le diagramme des couleurs, appelé quelquefois triangle des couleurs, qui a été adopté par la CIE en 1931. C'est une représentation en coordonnées chromatiques rectangulaires (*fig.* 3). Pour chaque type de lampe, le constructeur indique les coordonnées qui sont obtenues à partir de la distribution spectrale énergétique de la lampe et d'une mesure calorimétrique. Dans ce triangle, l'espace chromatique n'est pas uniforme, c'est-à-dire que, autour d'un point donné, le lieu géométrique des points d'égal écart de couleur est une ellipse. Pour corriger cet inconvénient, il existe un diagramme CIE-UCS de chromaticité uniforme.

On spécifie les couleurs par le système Munsell qui considère que chacune d'elles a trois dimensions : la tonalité, la clarté, la saturation. La CIE a introduit la comparaison des caractéristiques de couleur des différentes sources sur l'apparence de certaines couleurs tests éclairées par la lampe en essai et par une source




de référence. On établit la moyenne des différences de couleurs constatées qui mesure le rendu des couleurs de la lampe étudiée.

Les lampes à incandescence ont des distributions spectrales énergétiques comparables à celles des sources de référence, ce qui leur confère un excellent rendu des couleurs. Pour les lampes fluorescentes, certaines émettent trois longueurs d'onde de manière à obtenir un rendu des couleurs excellent (*fig.* 4 et 5).

La comparaison entre une source de lumière et la couleur du corps noir s'appelle *température de couleur*. Le kelvin est son unité de température.

## *Sources et modes de rayonnement*

Au point de vue spectral, les sources peuvent émettre de deux façons différentes : leur spectre peut être continu, c'est-à-dire que le rayonnement contient toutes les longueurs d'onde dans une plage déterminée; leur spectre peut être discontinu, le rayonnement est alors formé de raies filiformes ou de bandes. Les gaz à haute pression, les liquides et les solides émettent généralement des rayonnements à spectre continu; par contre, les gaz dilués émettent des rayonnements à spectre discontinu.

**Tableau IV**
**Les unités fondamentales et quelques exemples de lampes**

| Grandeurs | Symboles | Unités | Symboles | Définitions | Exemples |
|---|---|---|---|---|---|
| Flux lumineux | F ou Φ | Lumen | lm | Flux énergétique interprété par l'œil | Lampe à incandescence : 60 W, 220 V, 600 lm<br>Lampe fluorescente : 40 W, de 2 450 à 3 200 lm<br>Lampe sodium H.P. : 400 W, 40 000 lm<br>Lampes halogènes : 2 000 W, 200 000 lm |
| Éclairement | E | Lux | lx | Flux lumineux/surface | En plein soleil : jusqu'à 100 000 lux<br>Près d'une fenêtre par temps couvert : 1 500 à 2 000 lux |
| Intensité lumineuse | I | Candela | cd | Flux lumineux/angle solide | Dans l'axe d'un réflecteur industriel duo : 2 fois 40 W, blanc 1 350 cd<br>Dans l'axe d'un projecteur vitrine : 100 W, de 5 000 à 20 000 cd<br>Dans l'axe d'un projecteur iode : 2 000 W, de 3 500 à 160 000 cd<br>Dans l'axe d'un projecteur halogénures : 2 000 W, de 100 000 à 350 000 cd |
| Luminance | L | Candela par $m^2$ | cd/$m^2$ | Intensité/surface apparente de la source | Surface en pleine lune : 3 000 cd/$m^2$<br>Lampe fluorescente : 40 W, blanc 5 500 cd/$m^2$<br>Lampe à ballon fluorescent : 400 W, 110 000 cd/$m^2$<br>Filament lampe à incandescence : 100 W, 5 800 000 cd/$m^2$<br>Soleil : 2 400 000 000 cd/$m^2$ |

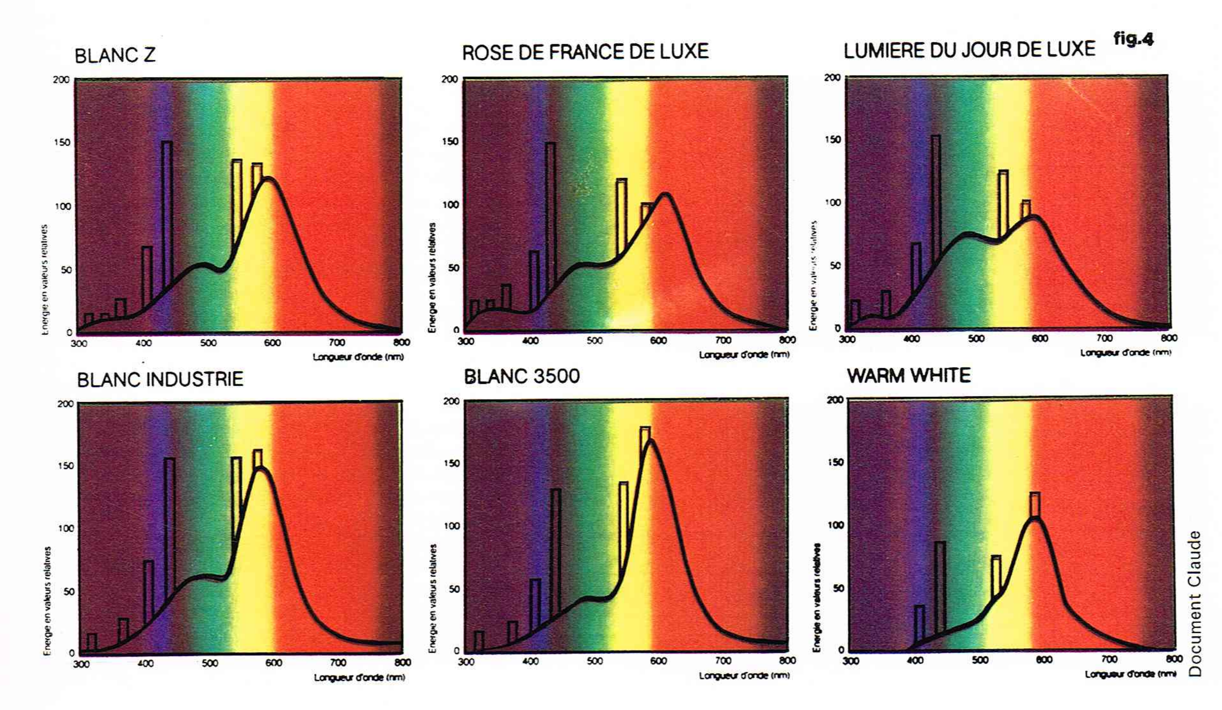
Ces rayonnements sont d'origine thermique ou luminescente. Le premier provient de la chaleur émise par une source, le second provient d'un phénomène chimique ou électrique ou de radiation autre que thermique.

### *Production de la lumière*

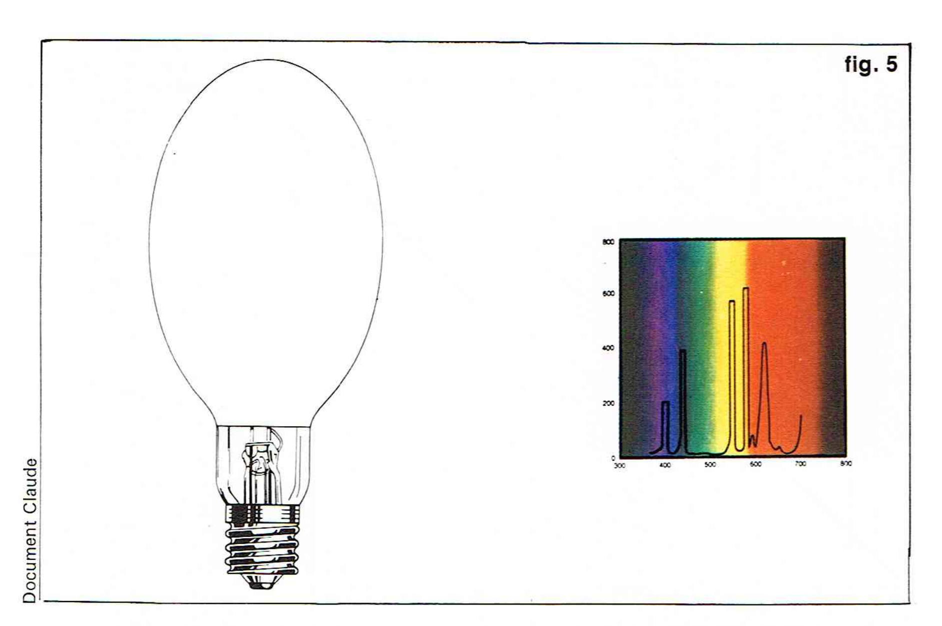
#### Production de la lumière par incandescence

Cette production est fondée sur la loi de Joule qui exprime qu'un conducteur traversé par un courant s'échauffe, et d'autant plus que l'intensité qui le traverse est élevée. Il prend successivement les couleurs rouge sombre, rouge vif, jaune et blanc brillant. Le rayonnement émis dépend de la nature du corps émetteur. Il est nécessaire d'avoir un radiateur idéal pour faire des mesures de comparaison quand on possède un radiateur quel-

▲ *A gauche, figure 3 : diagramme chromatique (triangle des couleurs). A droite, tableau IV : les unités fondamentales et quelques exemples.*




◀ *Figure 4 : courbe de répartition spectrale de différents types de lampes.*




▲ *Figure 5 : exemple de courbe de répartition spectrale d'une lampe à ballon fluorescent.*

conque. Ce radiateur idéal, qui obéit à des lois simples, est appelé *corps noir*.

Ce corps noir est une substance qui absorbe tous les rayonnements qu'il reçoit, quelles que soient les longueurs d'onde. Il est constitué d'une boîte creuse présentant un orifice de petites dimensions : tout rayonnement qui entre par le trou ne sort pas, car il subit de multiples réflexions avec absorption. Prenons l'exemple d'un grand four tapissé de noir de fumée : si l'on place une source à la petite porte d'entrée, on ne verra rien ressortir.

Le rayonnement du corps noir est régi par des lois contenues dans la formule de Planck. Ce sont les lois de Stephan et de Wien. La première indique : que le rayonnement total en énergie d'un corps noir est proportionnel à la surface du corps et croît comme la quatrième puissance de la température absolue de ce corps. La seconde s'énonce : pour un corps noir, le produit de la longueur d'onde $\lambda_{max}$ correspondant au maximum d'émittance à une température T et de cette température absolue T est constant : $\lambda_{max} T = C^{te}$.

Cette constante est égale à 2 886 avec $\lambda_{max}$ en micromètres et T en kelvins.

Citons un exemple : à la température $t = 100$ °C, soit $T = 100 + 273 = 373$ °K, nous aurons

$$\lambda_{max} = 2\,886/373 = 7{,}74\ \mu m$$

c'est un rayonnement infrarouge. Effectivement, un corps porté à 100 °C émet un rayonnement dans l'infrarouge non visible. C'est entre 800 à 1 000 °K que la lumière visible apparaît. A 2 886 °K, $\lambda_{max} = 1\ \mu m$, le rayonnement est blanc. La courbe de sensibilité de l'œil montre que son maximum a lieu dans la partie vert-jaune qui nécessiterait une longueur d'onde égale à 2 886/5 500 = 0,52 $\mu$m.

Il y a deux catégories de corps qui ne sont pas noirs : les corps gris et les corps colorés. Les premiers ont une courbe de répartition spectrale identique à celle du corps noir, obtenue en translatant cette dernière vers le bas. Cette courbe est applicable aux charbons, donc à la combustion de tous les corps qui en dérivent : acétylène, gaz d'éclairage, lampes à filament de carbone... Les seconds ont des courbes de répartition quelconques, non comparables à celle du corps noir pour la même température. Eux-mêmes se classent en deux catégories : ceux dont le maximum de la courbe est dans les faibles longueurs d'onde, c'est le cas du tungstène et des métaux en général ; ceux dont la répartition comporte plusieurs sommets dans la plage visible et une émission très faible dans les plages invisibles, c'est le cas des oxydes de terre qui étaient très utilisés pour la fabrication des manchons d'éclairage au gaz.

### Production de la lumière par luminescence

L'émission de lumière par luminescence est due à l'excitation des atomes de gaz traversé par un flux électronique. Ce sont les déplacements des électrons qui assurent le passage du courant comme dans un métal ; mais dans ce dernier, les électrons libres assurent cette fonction, alors que dans un gaz, il faut des conditions particulières pour que ces électrons soient libérés : le gaz doit être ionisé. Un atome de gaz est ionisé quand un électron s'échappe de l'attraction du noyau, sous l'effet d'une énergie extérieure, en laissant un ion positif. En effet, l'ensemble noyau + électron est neutre ; le fait de retirer un électron négatif rend cette nouvelle constitution positive, elle est appelée ion.

Pour que ce phénomène se produise, il faut exciter l'atome avec une énergie extérieure : le « choc ». Des corpuscules viennent frapper la molécule : atomes neutres dus à l'élévation de la température d'un corps qui augmente l'agitation moléculaire, électrons et photons. Quant un photon frappe un atome, son énergie est absorbée par l'atome et le photon disparaît. L'atome n'absorbe que les photons dont l'énergie est égale à celle nécessaire pour qu'il atteigne un niveau d'excitation ; il reste dans cet état pendant quelque $10^{-8}$ seconde, puis revient à son état premier : l'excitation correspond à un changement de niveau d'un électron et chaque changement est à l'origine d'un rayonnement de longueur d'onde bien déterminée : onde monochromatique. Celle-ci sera visible si la longueur d'onde est comprise entre 4 000 et 7 600 Å.

Considérons un tube contenant un gaz et deux électrodes. Si on applique une différence de potentiel de quelques centaines de volts entre ces électrodes, les quelques ions positifs que renferme le gaz viennent frapper la cathode (négative). Sous l'effet du choc, des électrons sont libérés qui ionisent les atomes gazeux qui les entourent. Le champ électrique accélère les électrons qui provoquent l'excitation des atomes. Le gaz devient lumineux. Au cours de ce phénomène, la cathode qui était froide le reste. Si on l'échauffe par une source extérieure, il se produit une décharge d'arc, car elle libère un nombre beaucoup plus grand d'électrons. La perte de puissance et la chute cathodique deviennent faibles, le courant est beaucoup plus intense. On dit que ces lampes sont *à cathodes chaudes*.

Les résultats sont les mêmes quand on alimente la lampe sous une tension alternative. Deux critères importants sont à retenir : une *tension d'amorçage* doit être suffisante pour provoquer l'ionisation du gaz. Après

▼ *Éclairage « rétro » (musée Horta).*



allumage, cette tension peut décroître, car la résistance de la lampe diminue, et une fois déclenché, le processus se poursuit de lui-même. Une *stabilisation* est nécessaire, car, après l'amorçage, l'intensité augmente considérablement jusqu'à la destruction de la lampe. Il est donc indispensable d'ajouter en série, dans le circuit, un limiteur de courant appelé communément *ballast*.

Il existe divers types de luminescences :

● la *chimiluminescence*, qui a pour origine une réaction chimique, comme par exemple la lueur verte de faible intensité qui résulte de l'oxydation lente du phosphore blanc au contact de l'air. Si cette réaction chimique prend naissance sur des organismes vivants, le phénomène est appelé « bioluminescence ».

● l'*électroluminescence*, qui fut découverte en 1936 par Destriau, se manifeste par une émission lumineuse quand on soumet à un champ électrique des produits comme les poudres monocristallines de sulfure de zinc mélangées à un matériau isolant. Les lampes de ce genre se présentent quelquefois sous forme de plaques constituées par une plaque support en verre, une couche conductrice transparente, une couche de matière fluorescente, une couche de matière réfléchissante, une couche conductrice métallique et une plaque support en verre. Ces lampes sont des condensateurs lumineux de faible luminance. La couleur peut être verte, bleue ou orangée. Elles sont alimentées directement sous la tension du réseau 220 V alternatif. La consommation est négligeable. Toute variation de différence de potentiel se traduit par une variation de l'intensité lumineuse. On s'en sert dans certaines applications comme amplificateurs de radiations.

● La *thermoluminescence*. Il y a thermoluminescence quand un matériau émet une radiation lumineuse par augmentation progressive de sa température.

● La *photoluminescence* est provoquée par une absorption de radiations électromagnétiques dans la plage infrarouge, visible et ultraviolet.

● La *sonoluminescence* est provoquée par l'action d'ondes ultrasonores intenses sur certains liquides qui donnent naissance à une cavitation.

● La *triboluminescence* apparaît sur certains solides soumis à des contraintes mécaniques, par exemple l'acide tartrique, le saccharose, le nitrate d'uranium, les phosphores synthétiques.

**Production de la lumière par fluorescence**

Quand un photon frappe un atome, le photon disparaît et l'énergie est absorbée par l'atome. Si ce dernier retourne à son état d'énergie d'origine par étapes, on dit qu'il y a *fluorescence* du gaz. Les fréquences émises sont plus faibles que celles des ondes absorbées, c'est un véritable transformateur de fréquences.

Si l'onde émettrice se situe dans la partie non visible du spectre (lumière ultraviolette), la lumière réémise par une substance appropriée sera visible.

## *Lampes actuelles*

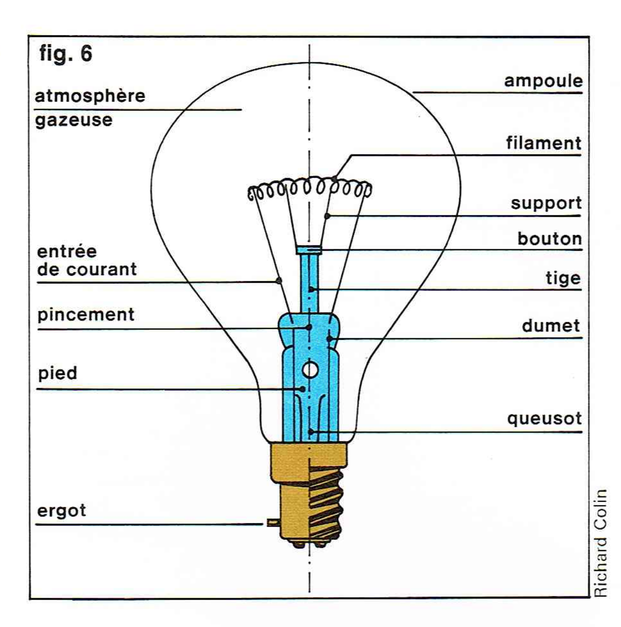
Les principaux types de lampes utilisées de nos jours sont :

— les lampes à incandescence ;
— les lampes à décharge ;
— les lampes fluorescentes.

### *Les lampes à incandescence*

Les principaux éléments qui constituent une lampe sont : une ampoule à l'intérieur de laquelle se trouve le filament et le gaz, et le culot (*fig.* 6).

● **L'ampoule** est une enveloppe de verre scellé. Elle peut être claire, opalisée ou translucide. L'opalisation consiste à recouvrir la face interne de l'ampoule avec un revêtement siliceux sous forme de poudre blanche. Le verre translucide est obtenu par attaque à l'acide de la face interne. Ces deux solutions permettent de diffuser la lumière émise par le filament. La forme varie suivant l'utilisation et le fabricant, on en compte quelques dizaines : forme standard, sphérique, cylindrique, conique, flamme, etc. On peut y incorporer un réflecteur du côté du culot pour diriger le faisceau lumineux ou à l'opposé du culot pour avoir une calotte argentée. Le verre peut




◀ *Figure 6 : pièces constitutives d'une lampe à incandescence.*

être coloré, il est alors principalement destiné à la décoration.

● **Le filament.** Nous avons vu que divers métaux avaient été essayés par les précurseurs avant de retenir le tungstène. Avec ce métal, les températures atteintes sont très élevées et permettent d'avoir des énergies rayonnées dans le spectre visible et une efficacité lumineuse importantes. Les fils couramment utilisés ont un diamètre compris entre 0,015 et 0,045 mm. Suivant la puissance, dans certains cas, le diamètre peut atteindre 2,5 mm ; à titre de comparaison, le diamètre moyen d'un cheveu est 0,060 mm. Le fil est bispiralé pour réduire les pertes de chaleur par convection et conduction. La longueur du filament est de 40 mm pour une lampe de 1,5 V-0,2 W et 70 cm pour une lampe de 220 V-40 W. Le bispiralage réduit à 1/25 la longueur du filament déployé, ce qui diminue le nombre de supports de filament.

● **Le gaz de remplissage.** Dans le vide, le filament de tungstène porté à haute température s'évapore. En effet, l'agitation moléculaire augmentant avec la température, ces molécules de tungstène s'échappent du conducteur et vont se déposer sur l'ampoule. La présence de molécules de gaz autour du filament forme une barrière qui s'oppose à ce déplacement et les molécules reviennent sur leur support d'origine. Malgré tout, quelques-unes s'échappent et se déposent sur le verre qui noircit légèrement. Cet effet est d'autant plus néfaste que le gaz contient plus d'impuretés en provenance des crochets supports de filaments.

Pour améliorer le vide des ampoules, on dépose sur les filaments des substances appelées getters. La volatilisation est d'autant plus faible que le gaz a une masse atomique élevée, c'est pourquoi on emploie le krypton, l'argon et l'azote. Le krypton est le meilleur de tous, mais il est rare ; on le trouve dans l'air dans la proportion de 1 volume de krypton pour 10 millions de volumes d'air. Les lampes courantes contiennent de l'argon, l'azote est utilisé dans les lampes de projection pour éviter l'amorçage entre les entrées de courant souvent rapprochées.

● **Le culot.** Il sert à relier la lampe à la douille. Les culots sont normalisés, leurs symboles sont une lettre suivie de chiffres. La lettre E (Edison) a été retenue pour les culots à vis et la lettre B pour les culots à baïonnette. Il en existe 7 types : B 22 baïonnette, B 15 petite baïonnette, B 22 R Retreint, E 22 vis Edison, E 14 petite vis, E 40 vis Goliath, E 27 R Retreint.

#### *Caractéristiques*

La durée de vie moyenne est de 1 000 heures. Ce chiffre correspond à l'optimum économique d'exploitation entre le prix de revient des lampes et celui de l'énergie électrique. Il faut évidemment respecter la tension nominale d'alimentation. Si la tension est inférieure (sous-voltage), la durée de vie sera augmentée, mais le flux lumineux sera beaucoup plus faible. En moyenne, la durée de vie est multipliée par deux quand on diminue

de 5 à 10 % la tension nominale, par contre l'efficacité lumineuse est réduite de 20 %.

Il faut noter aussi que le flux lumineux augmente plus vite que la puissance, car un gros filament peut être porté à une température plus élevée qu'un petit pour une même durée de vie, car l'importance relative des perte est plus faible (*tableau* V).

Le *tableau* VI donne les caractéristiques des lampes à incandescence.

### Influence de l'intensité sur la durée de vie

La résistance du filament, faible à froid, croît avec la température. A la mise sous tension, une surintensité traverse la lampe qui soumet les spires à des contraintes mécaniques élevées (rappelons que dans un solénoïde, un courant augmente son diamètre car les forces exercées par deux courants de sens contraire s'opposent, et diminue sa longueur par rapprochement des spires car les forces exercées par deux courants de même sens s'attirent). La durée de vie sera d'autant plus courte que le nombre d'allumages sera élevé. On a intérêt à mettre en série un rhéostat avec les lampes de forte puissance pour diminuer cette surintensité.

### *Gammes des lampes à incandescence*

**La lampe du type standard** en forme de poire est la plus courante; le verre peut être clair, dépoli ou opalisé.

### Lampes à réflecteur

Le réflecteur est constitué par un revêtement interne de l'ampoule par métallisation d'aluminium ou d'argent. Cette solution évite la corrosion du réflecteur et le rend insensible aux poussières. Le réflecteur peut être placé du côté du culot, ce qui permet un faisceau dirigé vers l'avant, ou à l'opposé du culot, ce qui permet un éclairement vers l'arrière; dans ce cas le réflecteur est appelé *à calotte argentée*. Les lampes à faisceau dirigé donnent un éclairement deux fois plus important sur le plan de travail qu'une lampe normale sans réflecteur. Les ampoules ont la forme courante à calotte aplatie verre soufflé ou de parabole verre pressé. Elles sont souvent associées aux lampes fluorescentes pour accentuer les ombres et reflets. Dans les lampes en verre pressé, la partie avant (non réflectrice) est une lentille qui donne la largeur du faisceau.

Certaines constructions sont très robustes et peuvent être utilisées sans précautions spéciales à l'extérieur. La partie avant peut être colorée pour les utilisations décoratives. Les lampes en verre soufflé ne possèdent pas de lentille, la largeur du faisceau est obtenue par la position du filament; par rapport aux précédentes, elles sont moins robustes et leur intensité lumineuse est plus faible à puissance égale. Elles servent surtout à l'éclairage intérieur. Le réflecteur peut aussi être placé sur la partie sphérique des ampoules.

### Lampes de projection

Elles sont à classer dans la catégorie des lampes dont la fabrication est spéciale. En effet, elles doivent avoir un foyer lumineux de faibles dimensions, de flux élevé, dont la position par rapport au culot doit être très précise pour assurer l'interchangeabilité sans changer le réglage. Leur durée de vie est plus courte que celle d'une lampe ordinaire, du fait de la température plus élevée du filament; quelquefois elle peut être réduite à quelques heures. Le filament comprend plusieurs boudins disposés suivant les génératrices d'un cylindre ou dans un ou deux plans. Actuellement, la plupart des lampes sont alimentées en basse tension de 8, 12 ou 24 volts. La source lumineuse est très compacte, car le filament est formé d'un unique boudin. Les projecteurs cinématographiques pour petits formats sont équipés de lampes cylindriques de faible diamètre pour diminuer au maximum la distance entre le filament et le système optique, et améliorer le rendement lumineux. Leur puissance ne dépasse pas 500 watts.

▼ *Tableau V : flux lumineux des lampes à incandescence 127 et 225 volts.*

**Tableau V**
**Flux lumineux des lampes à incandescence de 127 et 225 volts**

| Puissance (en W) | Flux lumineux (en lm) | |
|---|---|---|
| | 127 V | 225 V |
| 100 | 1 300 | 1 100 |
| 1 000 | 20 500 | 18 500 |
| Rapport des puissances : 10 | Rapport des flux : 15,7 | Rapport des flux : 16,8 |

▶ *Tableau VI : caractéristiques des lampes à incandescence.*

**Tableau VI**
**Caractéristiques des lampes à incandescence**

| Puissance (en W) | Flux (en lm) | | Efficacité lumineuse (en lm/W) | | Dimensions (en mm) | | | Filament | Culot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 V-130 V | 220 V-230 V | 125 V-130 V | 220 V-230 V | Diamètre | Hauteur | Centre lumineux | | |
| 15 | 141 | 128 | 9,4 | 8,5 | 60 | 103 | 75 | SS | B 22 (1) |
| 25 | 256 | 233 | 10,25 | 9,3 | 60 | 103 | 75 | SS | B 22 (1) |
| 40 | 506 | 436 | 12,65 | 10,9 | 60 | 103 | 73 | DB | B 22 (1) |
| 60 | 849 | 744 | 14,15 | 12,4 | 60 | 103 | 73 | DB | B 22 (1) |
| 75 | 1 125 | 967 | 15 | 12,90 | 60 | 103 | 73 | DB | B 22 (1) |
| 100 | 1 595 | 1 395 | 15,95 | 13,95 | 60 | 103 | 73 | DB | B 22 (1) |
| 150 | 2 385 | 2 093 | 15,90 | 13,95 | 80 | 160 | 120 | SS | B 22 (1) |
| 200 | 3 430 | 2 990 | 17,15 | 14,95 | 80 | 160 | 120 | SS | B 22 (1) |
| 300 | 5 205 | — | 17,35 | — | 88 | 175 | 133 | SS | E 27 |
| 300 | — | 5 025 | — | 16,75 | 88 | 175 | 133 | DB | E 27 |
| 500 | 9 525 | 8 700 | 19,05 | 17,5 | 110 | 233 | 178 | SS | E 40 |
| 750 | 15 000 | 13 425 | 20 | 17,9 | 130 | 267 | 202 | SS | E 40 |
| 1 000 | 21 150 | 18 750 | 21,15 | 18,75 | 130 | 267 | 202 | SS | E 40 |
| 1 500 | 32 025 | 29 325 | 21,35 | 19,55 | 170 | 335 | 250 | SS | E 40 |
| 2 000 | 43 900 | 39 100 | 21,25 | 19,55 | 170 | 335 | 250 | SS | E 40 |
| 3 000 | 67 650 | 59 850 | 22,55 | 19,15 | 240 | 400 | 280 | SS | E 40 |

(1) Lorsque la lampe est munie d'un culot E 27, ajouter 1,5 mm pour la hauteur du centre lumineux.
SS = simple spirale DB = double spirale

Il existe aussi des lampes sphériques dont le filament est monté en cylindre, leur puissance varie entre 500 et 1 500 watts. Elles sont utilisées pour l'éclairage des terrains de sport, monuments, chantiers. Leur durée de vie est 500 heures. Les appareils épiscopes sont équipés de lampes sphériques à filament plan de puissance 250 à 1 000 watts, leur durée de vie est 100 heures. Les prises de vues cinématographiques nécessitent des lampes plus puissantes de l'ordre de 10 000 watts; le culot est alors remplacé par deux broches.

### Lampes miniatures

Ces lampes fonctionnent sous une très basse tension. L'ampoule est généralement remplie de krypton pour augmenter l'efficacité lumineuse. Elles sont utilisées dans les appareils de radio, tableaux de bord de voitures, piles de poche, bicyclettes. On les colore pour les utiliser en décoration : guirlandes lumineuses pour arbres de Noël, bouquets de lumière, par exemple.

### Lampes à halogène

Ce sont des lampes à incandescence à filament de tungstène à haute performance. L'ampoule ne noircit pas, car le processus chimique interne empêche tout dépôt de molécules de tungstène issues de la vaporisation du filament à haute température. Pour ce faire, on introduit dans la lampe, en plus du gaz normal, une quantité d'halogène de l'ordre de 0,1 mg/cm$^3$ (iode ou fluor ou brome). La température de l'ampoule voisine 600 °C. A cette température, l'iode gazeux se combine aux gaz de tungstène pour former de l'iodure de tungstène qui ne se condense pas sur la partie interne de l'ampoule. L'iodure de tungstène, au contact du filament qui est à 2 600 °C, se décompose en libérant le tungstène qui se dépose.

Les ampoules sont en quartz de petites dimensions. Les ampoules en quartz ne doivent pas être manipulées à la main, car les traces de graisse laissées par les doigts provoquent une dévitrification à chaud. On utilise quelquefois la double enveloppe : le tube en quartz est placé à l'intérieur d'une ampoule en verre qui le protège. Cette ampoule est munie d'un culot à vis alors que les tubes sont équipés, à leurs extrémités, de pièces en céramique qui nécessitent l'usage de culots particuliers (*fig.* 7).

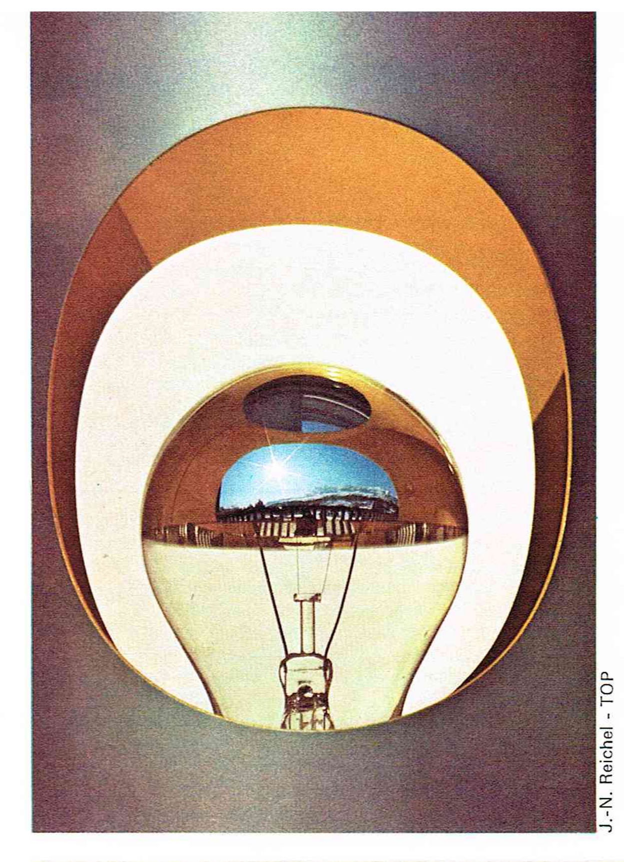
Elles conviennent parfaitement pour équiper les projecteurs légers et de faible volume pour la photographie, le cinéma. On les utilise aussi pour éclairer les stades, les monuments, vitrines, magasins. Le flux lumineux est important et pratiquement constant dans le temps. Leur durée de vie est deux fois supérieure à celle d'une lampe à incandescence normale pour une efficacité lumineuse égale. On peut les brancher directement sur le secteur sans appareillage auxiliaire. Leur puissance s'échelonne de 50 watts et 100 watts pour les lampes miniatures de diamètre 11 mm et longueur 44 mm à 2 000 watts pour des tubes de 10 mm de diamètre et 322 mm de longueur.

### Lampes pour la photographie

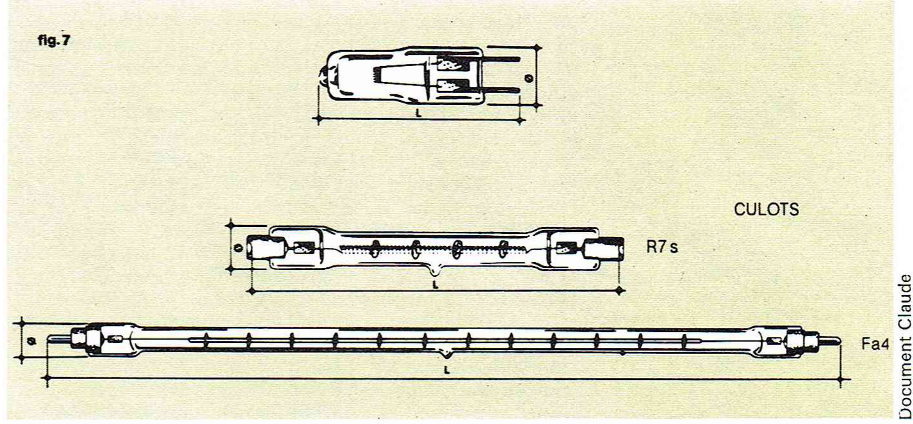
* *Lampes éclair* ou *lampes pour flash*. Elles sont constituées d'un écheveau de fil combustible : filament long et fin en alliage d'aluminium et de magnésium ou de zirconium placé dans une ampoule remplie d'oxygène. Un petit filament de tungstène rougit à la mise sous tension et met en combustion le fil. Ce filament est recouvert en partie d'une pâte explosive contenant du phosphore. L'éclair atteint son maximum d'éclairement 20 millisecondes après le contact, la combustion est terminée 40 millisecondes après. Les flux lumineux sont très importants, de l'ordre de 500 000 à 1 million de lumens. Une seule lampe flash libère autant de lumière que 500 lampes de 75 watts. Ces lampes sont recouvertes d'un vernis bleu qui permet la photographie en couleurs, le spectre étant proche de celui de la lumière naturelle.

* *Lampes pour prises de vues cinématographiques*. La durée de vie, quelques dizaines d'heures, a été sacrifiée au profit de l'efficacité lumineuse. Elles sont de faibles dimensions, ce qui permet au cinéaste amateur de transporter aisément son projecteur. La puissance est généralement 1 000 watts.

* *Lampes pour agrandisseurs*. Ce sont des lampes standards en forme de poire, d'intensité lumineuse normale; l'intérieur est dépoli pour avoir une lumière diffuse.




◀ ***Lampe à réflecteur : la calotte argentée donne un éclairement deux fois plus important sur le plan de travail.***




▲ ***Figure 7 : trois types de lampes tungstène-halogène.***

* *Lampes pour laboratoires*. Le tirage des épreuves nécessite des lampes *inactiniques*, c'est-à-dire qui n'ont aucune action sur les émulsions. Il existe des lampes de couleur rouge pour le développement des émulsions orthochromatiques, verte pour le développement des émulsions panchromatiques, jaune-vert pour le développement des papiers au bromure d'argent, jaune pour le développement des papiers au chlorure d'argent.

## Les lampes à arc

Dans l'historique, nous avons vu que la lampe à arc a été inventée en 1810 par Davy, bien avant la lampe à incandescence en 1877-1878 par Swan et Edison. Ces lampes ont été largement utilisées pendant les 68 ans qui séparent les deux inventions et même au-delà, surtout pour l'éclairage public. Elles n'ont pas été abandonnées et servent toujours dans certaines applications qui nécessitent une luminance élevée.

Le nom d'arc vient de la forme que prend naturellement la décharge électrique sous l'effet de l'air chaud ascendant quand les électrodes sont placées dans un même plan horizontal. Les électrodes sont en charbon. L'extrémité positive du charbon est portée à haute température et se creuse en cratère, qui est la principale source de lumière; elle fournit environ 85 % de la lumière totale. La luminance de ce cratère atteint 300 millions de candelas par mètre carré. L'extrémité négative du charbon est portée au rouge et fournit 5 % de la lumière. L'arc est à l'origine des 10 autres pour cent. Il faut placer les électrodes de telle façon que l'extrémité positive soit du côté à éclairer. En fonctionnement, les électrodes s'usent, et l'écartement varie; pour y remédier, on place un régulateur mécanique qui rapproche les électrodes pour compenser l'usure tout en maintenant la pointe

| Nature de la décharge | Aspect de la lumière | Puissance (en W) | Efficacité lumineuse (en lm/W) | Rendu des couleurs | Accessoires | Utilisation |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vapeur de mercure | Blanc pourpre | 160<br>250<br>500 | 20 à 25 | Bon | Directement sur le secteur | Industries<br>Éclairage public<br>Résidences<br>Parkings<br>Jardins |
| Vapeur de mercure | Blanc « Europe » | 50-80<br>125-250<br>400-700<br>1 000<br>2 000 | 40 à 55 | Convenable | Ballast + condensateur de compensation | Industries<br>Éclairage public<br>Routier<br>Grands espaces<br>Entrepôts |
| Vapeur de mercure | Blanc chaud | 80<br>125<br>250<br>400 | 40 à 55 | Bon | Ballast + condensateur de compensation | Industries<br>Halls<br>Grands bureaux<br>Surfaces de vente<br>Jardins<br>Rues piétonnières |
| Vapeur de sodium | Blanc doré | 250<br>400 | 100 à 110 | Moyen | Ballast + allumeur + condensateur de compensation | Grands espaces<br>Routiers<br>Urbains<br>Chantiers<br>Voies ferrées<br>Tunnels |
| Vapeur de sodium | Blanc doré | 250<br>400 | 100 à 110 | Moyen | Ballast + condensateur | |
| Vapeur de sodium, thallium, indium | Blanc pur | 2 000 | 95 | Bon | Ballast + allumeur + condensateur écrêtage + condensateur compensation | Stades<br>Parkings<br>Échangeurs<br>Voies de triage<br>Parcs<br>Grands espaces |

Tableau VII
Caractéristiques de quelques familles de lampes à décharge (documentation Claude)

▲ *Tableau VII : caractéristiques de quelques familles de lampes à décharge.*

positive en un lieu fixe, bien déterminé comme le foyer d'un miroir parabolique par exemple. La luminance des lampes actuelles peut atteindre 800 millions de candelas par mètre carré. Les électrodes sont formées d'un agglomérat de poudre de charbon, de goudron, de sels métalliques. Du fluorure ou du carbure de cérium peut être ajouté ainsi qu'une mèche. De ces éléments dépend le spectre du rayonnement émis.

Elles sont utilisées dans les projecteurs puissants comme les phares en bord de mer, les appareils de projection de cinéma professionnel.

▼ *Tableau VIII : caractéristiques de deux types de lampes à vapeur de sodium haute pression.*

Tableau VIII
Caractéristiques des deux types de lampes à vapeur de sodium haute pression

| Lampes | Puissance (en W) | Culot | Flux lumineux (en lm) | Efficacité lumineuse (en lm/W) | Dimensions (en mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Longueur | Diamètre |
| Lampes tubulaires | 250 | E 40 | 26 500 | 106 | 257 | 52 |
| | 400 | E 40 | 48 000 | 120 | 285 | 52 |
| Lampes ovoïdes | 250 | E 40 | 25 000 | 100 | 257 | 90 |
| | 400 | E 40 | 45 000 | 112 | 292 | 120 |

## *Les lampes à décharge*

La lampe à décharge met en œuvre le phénomène d'électroluminescence décrit dans le chapitre précédent, dont la lumière n'est pas produite par le chauffage du filament, mais par l'excitation du gaz à haute température enfermé dans une enceinte isotherme dénommée *brûleur*. Ce brûleur porté à haute température est protégé par une ampoule en verre de forme tubulaire ou ovoïde, claire ou poudrée, munie d'un culot de raccordement.

Il existe plusieurs types de lampes à décharge qui sont toutes suffisamment importantes dans leur utilisation pour que nous en fassions une description et en annoncions les caractéristiques principales. Nous aborderons successivement les lampes à vapeur de sodium, à vapeur de mercure, mixtes, spéciales. Les lampes à décharge se différencient notamment par la température de la cathode ; dans celles qui ont la cathode froide, la décharge a lieu dans un volume important et le tube est très long, par contre celles qui ont la cathode chaude ont des tubes courts.

Leurs dimensions sont faibles par rapport au flux lumineux qu'elles produisent. Le *tableau* VII définit quelques familles de lampes.

### *Lampes à vapeur de sodium basse pression*

L'intérieur du tube est rempli de sodium à basse pression qui se vaporise à la température de 98 °C et d'un mélange de néon ou d'argon. Les électrodes sont des filaments spiralés et activés. C'est une lampe à cathode chaude qui fonctionne en régime d'arc. Pour éviter une accumulation du sodium en certains points précis du tube, on fait de petites cavités qui constituent des points froids où le sodium se condense. Le néon est à l'origine de la première décharge qui émet une lumière rouge très caractéristique du gaz. La décharge amorcée, la température augmente jusqu'à 200 °C, valeur où les atomes de vapeur de sodium sont excités. L'allumage complet dure 10 minutes.

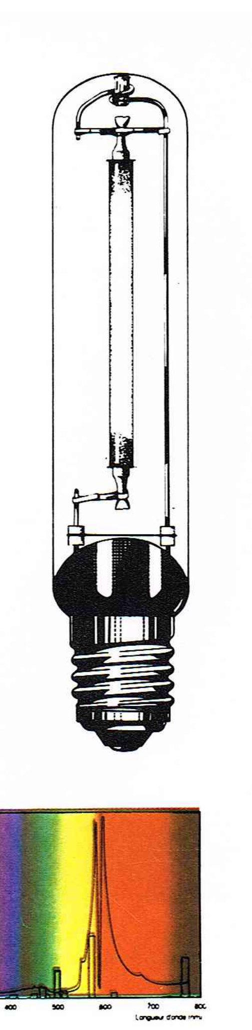
La pression, de quelques centaines de newtons par mètre carré, permet d'avoir un amorçage sous faible tension. Pour que le fonctionnement soit correct, il faut que le tube à décharge soit à la température de 270 °C. Pour maintenir cette température, on place le tube dans une ampoule dans laquelle on fait le vide et dont la paroi interne est revêtue d'oxyde d'indium. Les rayons infrarouges émis par le tube se reflètent sur l'oxyde et maintiennent le tube à bonne température. L'efficacité lumineuse est très élevée, de l'ordre de 200 lumens/watt, mais son spectre se réduit à deux raies pratiquement confondues dans la zone jaune-rouge. De ce fait, elle émet une lumière pratiquement monochromatique. Elle est utilisée dans les applications où le rendu des couleurs n'a pas d'importance. La variation du flux lumineux dans le temps est très faible : 10 % après 6 000 heures de fonctionnement. Ce flux provient à 90 % de l'émission du sodium, le reste du gaz d'amorçage. La lumière émise par ces lampes est très intéressante, car les raies du spectre se situent dans la zone où l'activité visuelle et la vitesse de la perception sont les meilleures. C'est actuellement la solution idéale pour l'éclairage des circuits routiers par temps de brouillard.

### *Lampes à vapeur de sodium haute pression*

Elles sont constituées d'un tube à décharge en alumine frittée pour résister à la corrosion du sodium due à son activité chimique intense à la température de fonctionnement de 700 °C. Il est placé dans une ampoule en verre dur qui sert de protection et dans laquelle on fait le vide. Le tube à décharge est rempli avec une importante quantité de sodium, pour qu'en fonctionnement normal, à une pression de 20 kilonewtons par mètre carré environ, la vapeur du sodium soit saturée. Sont ajoutés aussi du mercure comme support de la décharge et un gaz rare, le xénon, pour favoriser l'amorçage (*fig.* 8 a).

Ces lampes ont une répartition spectrale assez large dans le domaine visible comparée au spectre des lampes basse pression (*fig.* 8 b). La couleur est agréable, l'aspect de la lumière est blanc doré. Les ampoules de protection peuvent être tubulaires, claires ; dans ce cas, la source lumineuse est très compacte, ce qui permet un contrôle optique sérieux du flux lumineux. Elles peuvent être aussi ovoïdes diffusantes et, si besoin est, remplacer des

Fig. 8



*répartition spectrale.*

ballons fluorescents à vapeur de mercure dans des luminaires existants. L'efficacité lumineuse est élevée : 100 à 120 lumens par watt. Il leur faut 5 à 10 secondes pour s'amorcer. Aussi bien en forme tubulaire qu'ovoïde, les puissances les plus courantes sont 250 et 400 watts. Le *tableau* VIII donne les caractéristiques pour ces deux puissances.

Il leur faut un ballast de stabilisation, un allumeur et éventuellement des condensateurs pour améliorer le facteur de puissance. Leur durée de vie est de l'ordre de 4 à 6 000 heures avec une perte du flux lumineux de 15 %. On trouve maintenant des lampes dont l'auto-allumage se fait par l'intermédiaire d'une tige d'alumine supportant une résistance de tungstène placée à l'intérieur du tube. Elle est liée électriquement à une électrode et s'approche très près de l'autre électrode. Une tension de l'ordre de 150 volts permet l'amorçage entre cette tige et la deuxième électrode, qui entraîne l'allumage du tube (*fig.* 9).

### *Lampes à vapeur de mercure*

Les lampes à vapeur de mercure très basse pression font l'objet du chapitre *Lampes fluorescentes*. Au cours d'une décharge électroluminescente, un accroissement de pression entraîne une augmentation de l'efficacité lumineuse et enrichit la composition spectrale de l'émission. Si l'on étudie la variation spectrale en fonction de la pression, on obtient le *tableau* IX.

Les lampes à vapeur de mercure haute pression sont constituées d'un tube à décharge en quartz pour résister aux fortes températures. Il contient en faible quantité du mercure, qui est liquide à la température normale de 20 °C. Il va se vaporiser progressivement, et la pression interne sera de l'ordre de $2 \cdot 10^5$ à $10^6$ newtons par mètre carré. S'il n'y avait que du mercure, l'amorçage ne pourrait se faire à la température ordinaire, c'est pourquoi on ajoute une petite quantité d'argon. Pour faciliter l'amorçage, on monte une électrode auxiliaire, en plus des deux électrodes principales, qui est reliée à l'électrode opposée par l'intermédiaire d'une forte résistance. Dès la mise sous tension, une décharge prend naissance, ionise le gaz du tube et augmente sa température. Le mercure se vaporise progressivement et la décharge principale apparaît. L'ensemble est placé dans une ampoule protectrice remplie d'un gaz inerte qui maintient la température à peu près constante.

La vapeur de mercure émet les couleurs jaune, vert et bleu dans le spectre visible (violet à 4 047 Å, bleu à 4 358 Å, vert à 5 461 Å et jaune à 5 770 et 5 790 Å). Il y a absence totale de radiations rouges. Pour y remédier, on revêt la paroi interne de l'ampoule protectrice d'une substance fluorescente qui transforme l'énergie ultraviolette en couleur rouge. On donne à l'ampoule la forme ovoïde. S'il est inutile de créer une composante rouge, l'ampoule de protection est claire.

Par rapport à l'incandescence, cette lampe présente notamment deux avantages : sa durée de vie est six fois supérieure, ce qui réduit le nombre d'interventions, et son efficacité lumineuse est multipliée par un coefficient qui varie suivant le type de lampe entre 1,5 et 6. Les lampes à allumage instantané ont naturellement un facteur de puissance voisin de l'unité. Celles qui ne possèdent pas d'électrode auxiliaire s'amorcent avec un ballast équipé de condensateurs pour ramener le facteur de puissance à une valeur proche de 1. Dans certaines lampes, on ajoute au mercure et à l'argon des halogénures d'indium, de thallium et de sodium, ce qui leur confère une efficacité lumineuse importante : 100 lumens par watt et un spectre bien équilibré. Les puissances varient entre 50 et 200 watts. Le *tableau* X donne à titre d'exemple quelques caractéristiques, très variables suivant le type de lampe, à puissance égale.

Le thallium émet une lumière verte, l'indium une lumière bleue, le sodium une lumière jaune, le scandium une lumière rouge. La combinaison judicieuse du thallium, de l'indium et du sodium peut donner une lumière blanche avec une efficacité lumineuse toujours de l'ordre de 100 lumens par watt. Le phénomène interne au tube à iodures (ou halogénures) métalliques est le suivant : en fonctionnement normal, la température interne du tube est telle que l'iode et le thallium sont libres. Dans l'arc, leur concentration est importante et les atomes de thallium émettent une couleur verte. Au contact du tube, ils se recombinent. Le cycle est identique à celui d'une lampe à halogène.

Les lampes à vapeur de mercure haute pression sont utilisées pour l'éclairage :

— des grandes surfaces extérieures, comme les parkings, les routes, les carrefours, les parcs industriels ;

— des surfaces extérieures de prestige : rues piétonnières, promenades, places, parcs ;

— des volumes intérieurs relativement importants : grands bureaux, halls d'entrée, surfaces de vente.

Certaines servent à l'éclairage des serres et au forçage des plantes.

Les lampes à iodures métalliques, à cause de leur lumière agréable, sont principalement destinées à l'éclairage des grandes surfaces : stades, parkings, échangeurs, triage ferroviaire.

### *Lampes à lumière mixte*

Nous avons vu que les lampes à vapeur de mercure haute pression n'émettent pas de lumière rouge, ce qui limite leur emploi. Par contre, les lampes à incandescence ont leur spectre situé dans la zone des rouges et infra-

fig. 9



***◄▲ Figure 8 : lampe à vapeur de sodium haute pression, et courbe de répartition spectrale. Figure 9 : détail du dispositif d'auto-allumage d'une lampe à vapeur de sodium haute pression.***

***▼ Tableau IX : variation spectrale en fonction de la pression pour les lampes à vapeur de mercure.***

**Tableau IX**

**Variation spectrale en fonction de la pression pour les lampes à vapeur de mercure**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 atm | Faibles pressions | Raies à 185 et 253,7 nm | Ultraviolet | Lampes germicides et productrices d'ozone |
| 10 atm | Pressions moyennes | Raies à 365 nm, vertes à 546 nm et jaunes à 577 nm | Vert et jaune | |
| 100 atm | Très fortes pressions | Raies plus nombreuses et plus larges, spectre continu | Spectre continu | |

| Tableau X<br>Caractéristiques des lampes à vapeur de mercure | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Puissance (en W) | Culot | Flux lumineux (en lm) | Efficacité lumineuse (en lm/W) | Dimensions (en mm) | |
| | | | | Longueur | Diamètre |
| 160 | E 27 | 3 000 | 18,75 | 180 | 75 |
| 250 | E 40 | 5 500 | 22 | 227 | 91 |
| 500 | E 40 | 13 500 | 27 | 275 | 131 |
| 50 | E 27 | 2 000 | 40 | 129 | 55 |
| 80 | E 27 | 3 800 | 47,5 | 159 | 70 |
| 125 | E 27 | 6 400 | 51 | 173 | 75 |
| 250 | E 40 | 12 500 | 54 | 223 | 90 |
| 400 | E 40 | 23 000 | 57,5 | 286 | 120 |
| 700 | E 40 | 40 000 | 57,1 | 330 | 140 |
| 1 000 | E 40 | 55 000 | 55 | 395 | 165 |
| 2 000 | E 40 | 120 000 | 60 | 430 | 185 |
| 2 000 | E 40 | 190 000 | 95 | 430 | 100 |

Document Claude

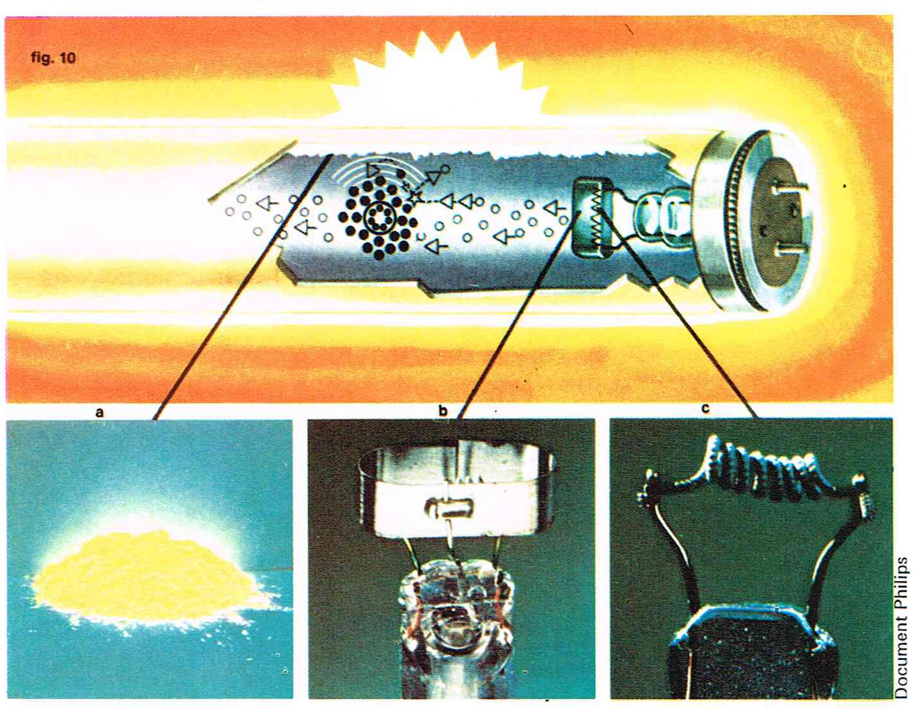
*▲ Tableau X. A droite, lampe à éclairage mixte. On distingue le filament incandescent et le tube de décharge en quartz.*

*▼ Figure 10 : détail d'une lampe fluorescente ; a, poudres fluorescentes qui confèrent à la lampe un flux optimal et une faible chute de flux dans le temps ; b, anneau de protection qui évite le noircissement des tubes aux extrémités et assure un plus long maintien de l'efficacité lumineuse ; c, électrode trispirale qui assure la qualité d'un bon amorçage dans le temps.*

rouges, d'où l'idée de grouper dans une seule ampoule les deux types de lampes. Le tube à décharge est monté en série avec le filament de tungstène. Comme une lampe à incandescence, l'ampoule est remplie d'un gaz et sa face interne est revêtue d'une matière fluorescente. Les radiations ultraviolettes du tube sont transformées en radiations visibles grâce à cette couche fluorescente. Le résultat donne une lumière blanche, agréable et bien équilibrée. Le filament, en série avec le tube à décharge, stabilise le courant et fait office de ballast. Ces lampes peuvent remplacer les lampes à incandescence sans modifier le réseau d'alimentation. Leur durée de fonctionnement est six fois supérieure et leur efficacité lumineuse double. On les utilise pour éclairer les grands espaces et locaux industriels, les ateliers, hangars, entrepôts, garages, lieux publics.

### *Lampes fluorescentes*

Ce sont des lampes à cathode chaude, qui fonctionnent en régime d'arc. Le tube, rempli de vapeur de mercure basse pression et de gaz rare, est revêtu intérieurement de matières fluorescentes (*fig.* 10), dont dépend la couleur de la lumière émise. Une décharge dans un tube rempli de vapeur de mercure basse pression émet une radiation ultraviolette de 2 537 Å (ou 253,7 nm) qui excite la fluorescence des matières tapissant le tube. Ces substances fluorescentes sont des poudres : sels minéraux auxquels on ajoute des métaux luminogènes comme le plomb ou le manganèse. Leur fabrication est contrôlée très sévèrement, car une infime quantité d'impureté peut empêcher la fluorescence. Le *tableau* XI donne les couleurs du rayonnement fluorescent de certains sels. Leur combinaison permet d'avoir des gammes de couleurs très étendues, et notamment celles exigées le plus souvent par les clients pour satisfaire leurs besoins.




Document Philips

Le nombre de ces couleurs est limité ; leurs désignations commerciales, qui varient suivant les fabricants, sont le plus souvent les suivantes : blanc industrie, blanc de luxe, blanc soleil de luxe, blanc brillant de luxe, lumière du jour. La qualité de la lumière est caractérisée par la couleur apparente de la lampe qui dépend de la température de couleur :

| Couleur apparente | Température de couleur |
|---|---|
| Chaude (blanc rosé) | < 3 300 °K |
| Intermédiaire (blanc) | 3 300 à 5 500 °K |
| Froide (blanc bleuté) | > 5 500 °K |

et par son indice de rendu des couleurs (IRC) qui caractérise l'aptitude des tubes fluorescents à ne pas déformer l'aspect coloré des surfaces et des objets qu'ils éclairent. Cet indice est normalisé. Il permet, par comparaison entre le tube considéré et une source lumineuse de même température de couleur, dont le rendu des couleurs est bien accepté, d'apprécier la différence d'aspect coloré des objets. Il est exprimé par un chiffre compris entre 0 et 100 : 0 si la différence d'aspect est très importante, 100 si cette différence est nulle. Le Cahier des recommandations relatives à l'éclairage intérieur rédigé par l'Association Française d'Éclairage, donne les valeurs de IRC ou $R_a$ suivantes :

| | |
|---|---|
| Excellent | IRC ⩾ 90 |
| Bon | 80 < IRC < 90 |
| Acceptable | 70 < IRC < 80 |
| Médiocre | 60 < IRC < 70 |
| Sans exigence | IRC < 60 |

— Le blanc industrie émet très peu de lumières rouges et bleues, sa teinte est froide, son efficacité lumi-

neuse élevée. Il est utilisé dans les installations où le rendu des couleurs a peu d'importance.

— Le blanc de luxe a deux émissions importantes dans les longueurs d'onde 435 et 546 nm et deux plus faibles à 404 et 578 nm. Il est surtout utilisé pour contrôler les blancs et les gris.

— Le blanc soleil de luxe est plus riche en radiations de grandes longueurs d'onde, ce qui lui confère un emploi facile dans les locaux où l'on recherche une ambiance intime et chaude comme les habitations, les hôtels, les salles de spectacle, etc. L'harmonie est excellente quand on associe ces tubes avec des lampes à incandescence.

— Le blanc Z est une teinte agréable à utilisation universelle. Il assure une bonne perception des couleurs et une ambiance agréable (bureaux, salles de classe, commerce).

— Le rose de France de luxe est une teinte rosée flattant les teints. Il crée une ambiance chaude et intime et peut s'associer à l'incandescence (séjour, bains, boucheries, charcuteries, salles de spectacles).

— Le blanc brillant de luxe permet un rendu fidèle des couleurs. Il est employé pour l'éclairage des restaurants, des locaux administratifs, des salles de cours.

— La lumière du jour crée une ambiance froide; elle est difficile à créer artificiellement, car elle varie suivant l'heure, la saison, l'état du ciel. Ces tubes ne doivent être utilisés que pour des éclairements au moins égaux à 500 lux. Ils apportent une excellente définition des couleurs. Recommandés pour l'éclairage des magasins de blanc, teintureries, cabinets dentaires, etc.

La quantité de vapeur de mercure à utiliser doit être dosée très précisément. Pour ce faire, on met le mercure soit directement, soit dans un petit tube en verre fixé par un fil conducteur à proximité de l'électrode. Le tube se rompt à la mise sous tension, le mercure passe en phase vapeur et, pour certains types, se combine à de l'indium qui a été déposé en des endroits précis : sur la coupelle, qui, sous l'effet de la forte température, libère des atomes de mercure de l'amalgame qui s'est formé à la rupture du petit tube; sur le pincement de la lampe; sur le rebord entre le pincement et le culot. En cet endroit, porté à faible température, l'amalgame joue le rôle de régulateur de pression.

Les deux extrémités du tube sont munies d'un culot scellé comprenant deux ergots qui s'insèrent dans une douille support. Il faut tourner la lampe d'un quart de tour pour que les contacts électriques se fassent et qu'elle soit verrouillée. Chaque culot supporte une électrode en tungstène bispiralé ou trispiralé, comme les lampes à incandescence, recouvert d'oxyde pour augmenter le nombre d'électrons émis. Une coupelle entoure les électrodes de manière à maintenir leur température pratiquement constante et à éviter le noircissement du tube aux extrémités par projection de particules arrachées aux électrodes au cours de la décharge.

Le fonctionnement normal a lieu à la température de 45 °C pour laquelle la tension de vapeur du mercure est la pression optimale pour l'émission de la radiation 2 537 Å. Ce critère fixe les dimensions suivant les puissances. Cette température, due à la décharge, est atteinte à condition que la température ambiante soit de 20 °C. Toute variation de température entraîne une baisse sensible du rendement. Généralement, les tubes ont un diamètre extérieur de 32 et 38 mm; ils sont droits ou circulaires. On trouve aussi dans le commerce des tubes de petit diamètre : 16 mm, qui sont très robustes et qui dégagent une très faible quantité de chaleur.

## Lampes diverses

### Lampes renforcées

Elles sont spécialement étudiées pour résister aux chocs et aux vibrations. Le filament est soutenu par un plus grand nombre de supports. Le culot et les matériaux de connexion permettent de les utiliser jusqu'à 280 °C. Pour certaines, le filament est au rhénium. Leur forme peut être standard; dans ce cas, les culots sont le plus généralement du type B 22, E 27 ou E 40. Les puissances s'échelonnent de 40 à 1 000 watts. Pour les formes sphériques, les culots sont B 22, E 14 et E 27. Les puissances s'échelonnent de 15 à 60 watts. Les fours sont éclairés avec des lampes de ce type.

### Lampes veilleuses

Ce sont des lampes de faible puissance (4 watts), de dimensions réduites, surtout destinées aux éclairages de signalisation témoin, de faible ambiance lumineuse, éclairage d'appoint pour télévision. Les culots utilisés sont B 22, E 14 et E 27. Elles peuvent être claires ou opales.

| Tableau XI<br>Sels fluorescents | Longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption (en nm) | Longueur d'onde correspondant au maximum d'émission (en nm) | Couleur du rayonnement fluorescent |
|---|---|---|---|
| Borate de cadmium | 250 | 615 | Rose-rouge |
| Silicate de cadmium | 240 | 595 | Jaune-rose |
| Silicate double de béryllium et de zinc | 253,7 | 392,5 | Blanc-jaune |
| Silicate de zinc | 253,7 | 525 | Vert |
| Tungstate de magnésium | 285 | 480 | Blanc bleuté |
| Tungstate de calcium | 272 | 440 | Bleu |

▲ *Tableau XI : couleurs du rayonnement fluorescent de certains sels.*

### Lampes brûle-parfum

Elles sont de faible puissance : 15 watts, de dimensions réduites, et destinées, comme les précédentes, aux éclairages de signalisation témoin.

### Lampes flammes

Dans cette série, on trouve des lampes normales, dépolies intérieur ou dépolies extérieur, des lampes torsadées claires, dépolies intérieur ou dépolies extérieur. On utilise de nombreux types de culots : E 14, E 27, B 15, B 22. Les puissances varient de 25 à 60 watts, les diamètres de 35 à 60 mm et les longueurs de 90 à 145 mm. Ce sont des lampes à incandescence à filament bispiralé.

### Lampes bas voltage

Ce sont des lampes à incandescence qui fonctionnent sous les tensions 12, 24, 27 ou 48 volts. Leur puissance s'échelonne de 15 à 500 watts. On les trouve avec des culots E 14, E 27, E 40, B 15, B 22. Elles sont de forme tube ou standard ou sphérique, claires ou dépolies. Elles sont utilisées pour les éclairages de sécurité, baladeuses, machines-outils et éclairages de secours.

### Lampes à ozone

Ce sont des lampes à décharge dans la vapeur de mercure. Le verre transmet les radiations de 185 nm, qui sont génératrices d'ozone, et une radiation germicide de 253,7 nm.

### Lampes germicides

Ce sont des lampes à décharge dans la vapeur de mercure très basse pression. Elles émettent un rayonnement ultraviolet de 260 nm de longueur d'onde. Elles fonctionnent suivant le même principe que le tube fluorescent, mais ici l'ampoule est transparente et transmet directement le rayonnement ultraviolet.

### Lampes solaires

Ces lampes émettent un rayonnement dans la zone ultraviolette qui existe dans le rayonnement solaire, d'où leur nom. Elles émettent un rayonnement visible, un rayonnement ultraviolet et un rayonnement infrarouge.

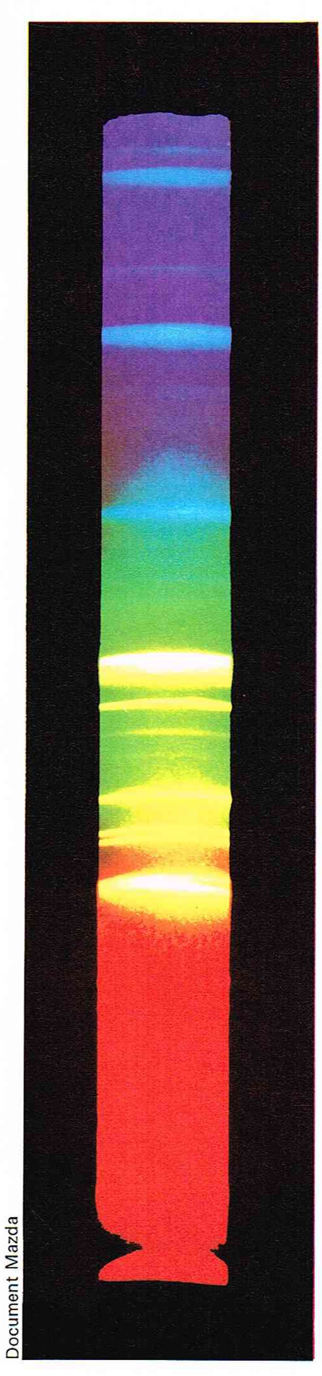
### Lampes à lumière noire

Elles émettent dans la plage de longueurs d'onde comprises entre 350 et 370 nm. Un verre de couleur bleu pourpre foncé élimine par absorption presque toutes les radiations visibles. Seul l'ultraviolet passe. Elles provoquent des phénomènes de fluorescence. Elles sont principalement utilisées dans les industries chimiques, textiles, alimentaires, en philatélie, en minéralogie, pour les expertises médicales et bancaires, dans les spectacles pour améliorer la décoration.

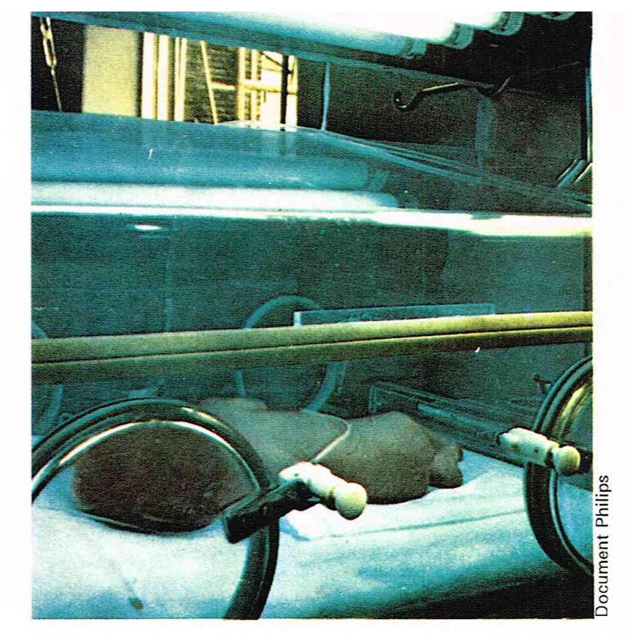
### Lampes de signalisation

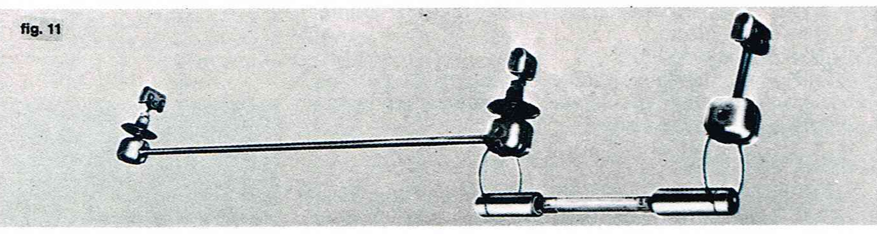
Elles sont caractérisées par leur très longue durée de vie : 8 000 heures. Elles ont une très bonne efficacité lumineuse. Généralement, leur filament est bispiralé et leur atmosphère est au krypton. Elles sont peu affectées par le grand nombre d'allumages et les vibrations. Les culots sont E 27 et B 22 et les puissances de 25 à 70 watts.

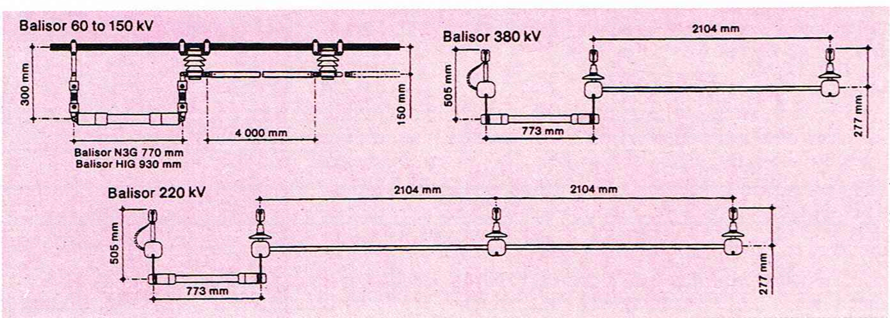
▼ *Spectre d'une lampe à décharge à iodures métalliques.*


Document Mazda

| Tableau XII<br>Caractéristiques des lampes à lueur | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Culot | Tension de fonctionnement (en V) | Intensité admise (en mA) | Tension d'amorçage (en V) | Résistance de stabilisation |
| Sans | 100-130 | 0,4-0,6 | 65 | 150 k Ω |
| Sans | 200-250 | | | 390 k Ω |
| Sans | 220-230 | 1-1,5 | 150 | 68 k Ω |
| Sans | 380 | | | 220 k Ω |
| E 14 | 220-230 | 2-3 | 150 | dans le culot |
| E 14 | 380 | | | |
| E 14 | 110-130 | 2-3 | | |



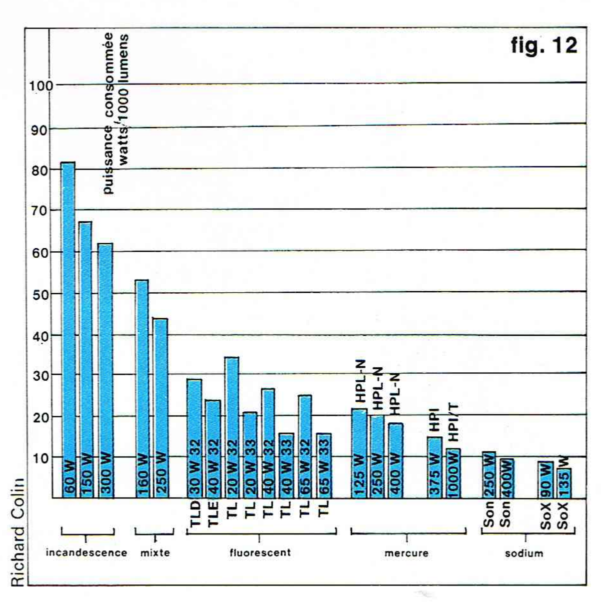




▲ *Tableau XII : caractéristiques des lampes à lueur. Figure 11 : lampe pour le balisage des lignes aériennes haute tension. En haut, à droite, utilisation de la lumière bleue pour le traitement de l'ictère néo-natal chez les enfants prématurés.*

Elles sont utilisées pour les feux de signalisation, répétiteurs autos et panneaux piétons.

### *Lampes décor*

Ce sont des lampes de formes originales destinées à la décoration et aux éclairages d'ambiance. Elles sont souvent de gros volume. Elles enrichissent les luminaires ou les simplifient jusqu'à les remplacer. Elles sont utilisées dans l'éclairage domestique, les lieux publics, vitrines, commerces, restaurants, hôtels, etc. Les culots utilisés sont E 27 et B 22 et les puissances s'échelonnent de 40 à 100 watts.




▶ *Figure 12 : puissance consommée par différents types de lampes pour 1 000 lumens émis.*

### *Lampes infrarouges*

Ces lampes sont utilisées pour l'élevage et certaines applications industrielles comme le séchage des peintures, la cuisson superficielle. Le rayonnement infrarouge présente de nombreux avantages relatifs à l'économie et à la simplicité de mise en œuvre. L'entretien est réduit au minimum. Elles possèdent les culots normalisés E 27 et B 22 et se font dans la gamme des puissances de 100 à 400 watts.

### *Lampes à lueur*

Les lampes à lueur sont des lampes à décharge qui fonctionnent au régime de la luminescence. La tension d'amorçage se confond pratiquement avec la tension de fonctionnement normal. Leur consommation est très faible, de l'ordre du milliampère, et leur durée de vie est longue. Leur stabilisation est obtenue avec une faible résistance, généralement incorporée au culot. Pour les lampes sans culot, cette résistance est soudée sur un des fils d'amenée du courant. Le gaz de remplissage est l'argon, qui émet une lumière rouge-orangé. Leur flux lumineux diminue en fonction du vieillissement, ce qui permet de les changer avant qu'elles soient hors d'usage.

Elles sont utilisées pour signaler, dans l'obscurité, la position des interrupteurs. Elles servent de témoin sur les appareils électroménagers. On les monte à l'intérieur de tournevis à manches transparents comme indicateurs de tension ; une amenée de courant est reliée à la lame, l'autre à un œillet métallique sur le manche. La lampe s'allume quand la lame est en contact avec un conducteur sous tension, l'œillet étant relié à la masse par l'intermédiaire de la main de l'électricien. Une forte résistance est placée en série qui élimine tout danger. Le *tableau* XII donne un ordre de grandeur des caractéristiques.

### *Lampes à filament axial*

Ce sont des lampes tubes ayant une arrivée de courant à chaque extrémité. Les culots peuvent être fixés suivant l'axe ou latéralement. Le verre est dépoli ou opale. Elles sont utilisées pour l'éclairage domestique et les vitrines des magasins. Leur puissance varie de 25 à 110 watts, leur diamètre de 21 à 38 mm et la longueur de 221 à 600 mm.

### *Autres lampes*

Il existe d'autres lampes pour des applications bien particulières, comme par exemple les tubes pour la photothérapie en lumière bleue pour le traitement de l'ictère néo-natal chez les enfants prématurés. Ce sont des tubes fluorescents qui utilisent une poudre au pyrophosphate de strontium activée à l'europium, dont 30 % de la puissance totale fournie au tube est rayonnée dans l'infrarouge. La faible émission érythémale (240 nm $\leqslant \lambda \leqslant$ 300 nm) constitue un avantage évident. La longueur d'onde de 313 nm qui apparaît se trouve pratiquement absorbée par la poudre au strontium.

● *Lampes pour le balisage* des lignes aériennes haute tension 60 000 à 380 000 volts et des bâtiments au voisinage des aéroports (*fig.* 11).

Si l'on compare les différents types de lampes, on établit la *figure* 12, qui indique les puissances consommées par 1 000 lumens émis.



◀ *Bureaux de la tour Fiat à la Défense, près de Paris ; éclairage par diffuseurs encastrés.*

## *Conception - Marketing - Design*

Les lampes et les appareils d'éclairage font l'objet de deux branches distinctes. La plupart des constructeurs ont d'ailleurs créé des départements séparés qui assurent leur étude, leur fabrication et la commercialisation de leurs produits. Cette distinction est logique, car les techniques ne sont pas les mêmes, les marchés, les quantités à fabriquer et à vendre non plus. Ces deux lignes de produits se rejoignent au niveau du service commercial pour apporter au client un service complet.

Les clients trouvent dans les catalogues les produits dont ils ont besoin ; cependant, les architectes, les bureaux d'études, les promoteurs, les installateurs ont quelquefois besoin d'appareils particuliers pour offrir des solutions originales à leurs propres clients. Ces demandes sont exécutées d'après un cahier des charges précis dans des délais qui doivent être très courts pour la plupart de ces réalisations. Les études spéciales s'accompagnent très souvent de commandes complémentaires sur catalogue. Ces produits spéciaux se retrouvent alors sur catalogue en raison de leur demande.

Cette évolution des formes et des besoins se transmet alors naturellement du client au fabricant. Les architectes s'intéressent essentiellement aux surfaces de plafond d'un certain module et à l'aspect du produit. En revanche, le souci des bureaux d'études et des installateurs est plus technique, comme l'association de l'éclairage et du conditionnement d'air ou la combinaison éclairage-faux plafond. Certains constructeurs possèdent des bureaux de design prestataires de service dont le rôle est le dessin précis d'appareils à partir d'idées assez vagues.

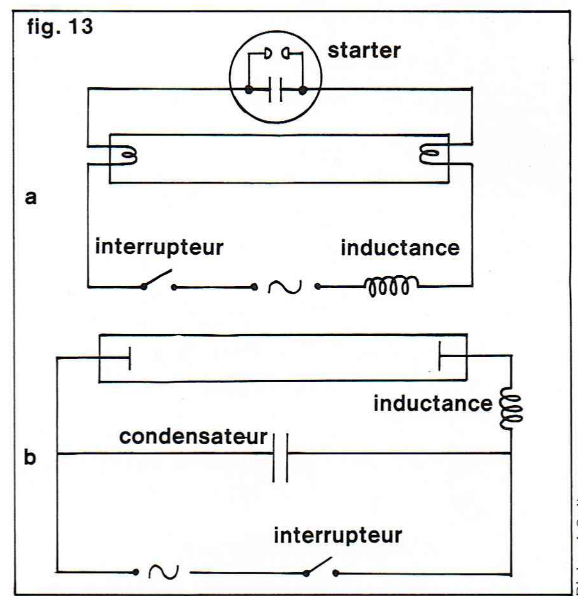
Le service marketing se préoccupe généralement des lampes et des appareils et agit dans un souci de prospective. Il saisit la tendance dans le domaine des appareils et en fait part au service commercial et au service des ventes. Le marché est partagé en deux : les appareils peu coûteux et robustes, destinés pour la plupart au grand public, et les appareils à haute technicité. Quant aux motivations des clients, elles peuvent être techniques, esthétiques, faire intervenir les questions de prix, de délais de livraison, de rapidité de montage.

On peut parler de design pour les appareils d'éclairage, alors que la forme des sources est surtout le fait de considérations techniques. L'innovation est limitée dans le domaine des appareils. L'apparition de nouvelles lampes exige l'étude, le dessin et la fabrication de nouveaux appareils liés au volume de la source, à son utilisation, à son intégration dans le milieu ambiant, à son prix.

## *Sources d'alimentation des lampes*

Les lampes à incandescence fonctionnent indifféremment sous une tension alternative ou une tension continue. Leur principe est fondé sur l'échauffement d'un filament traversé par un courant ; la loi de Joule s'applique quelle que soit la source. Quant aux tensions, elles sont comprises entre quelques volts et 220 volts.

Les lampes fluorescentes peuvent très bien fonctionner en courant continu. On les alimente en courant alternatif, car : c'est la forme de courant distribuée par EDF ; chaque électrode fonctionnant alternativement en anode et en cathode, il y a moins d'usure des filaments ; il est plus facile de produire une surtension et de stabiliser un arc en alternatif.




◀ *Figure 13 : circuits d'allumage ; a, par préchauffage des électrodes ; b, par résonance.*

### *Amorçage des lampes à décharge*

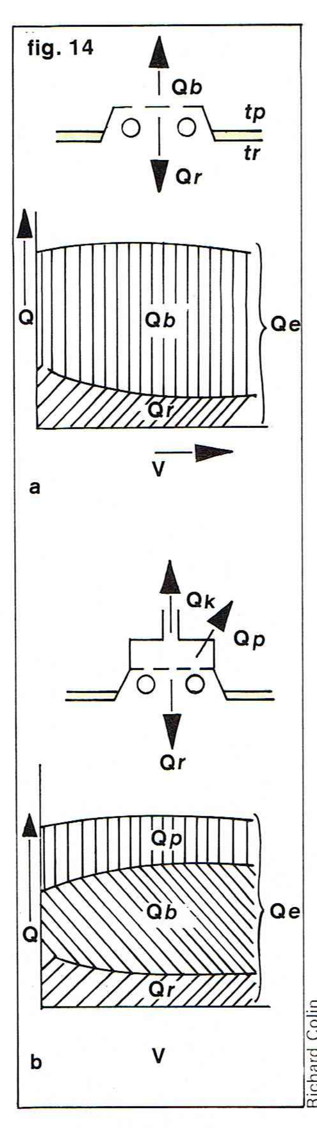
Les procédés sont différents selon que les lampes sont à cathode froide ou à cathode chaude.

Pour les lampes à cathode froide, il faut créer une chute de tension après l'amorçage, soit en mettant en série dans le circuit une inductance, soit en alimentant le tube directement aux bornes du secondaire d'un transformateur à fuite. Pour les lampes à cathode chaude, les principaux types d'amorçages sont les suivants.

• **Allumage instantané.** Il peut être obtenu en plaçant, à la fabrication, une bande conductrice à l'intérieur ou à l'extérieur du tube suivant une génératrice de manière à diminuer la tension d'amorçage à froid.

• **Allumage par préchauffage.** Ce type d'allumage nécessite un préchauffage des électrodes suivi d'une surtension pour provoquer l'amorçage de la décharge. Le principe est le suivant : à la fermeture de l'interrupteur I, le courant traverse successivement une inductance L, les électrodes (qui s'échauffent) et un starter qui n'est autre qu'un interrupteur automatique qui s'ouvre après un temps très court. Cette ouverture provoque une surtension aux bornes du tube, à cause de la présence de L, qui amorce la décharge (*fig.* 13a).

Le starter à gaz est couramment utilisé, il se compose d'un tube à décharge au néon contenant un bilame. A la fermeture du circuit, un arc prend naissance dans le tube qui déforme le bilame par échauffement et ferme le circuit. La décharge ayant disparu, le tube se refroidit, le circuit s'ouvre et la tension est appliquée aux bornes du tube. En parallèle avec le starter, on place toujours un condensateur d'antiparasitage.




▲ *Figures 14 a et b : voir développement dans le texte (d'après document Philips).*

▼ *Figure 14 c : baisse du flux lumineux en fonction de la durée d'allumage.*

● **Allumage par résonance.** Il utilise un circuit résonnant inductance-condensateur qui génère une surtension aux bornes du tube à la mise sous tension et provoque l'allumage (*fig.* 13b).

## *Particularités de fonctionnement*

Les lampes possèdent un certain nombre de particularités qu'il est intéressant de connaître quand on établit un projet. Ce sont principalement les influences de la température et de la tension, les effets stroboscopiques, le papillotement, les parasites des ondes hertziennes, la durée de vie, etc.

### *Influence de la température*

● **Lampes à incandescence** : le flux lumineux varie très peu avec la température.

● **Lampes à décharge.** Contrairement aux précédentes, la variation du flux émis est très importante. Cela provient du fait que la pression de la vapeur de mercure à l'intérieur du tube est fonction de la température. Les tubes sont étudiés pour que le maximum de flux soit obtenu à 20 °C. Les appareils d'éclairage sont conçus en conséquence : aération et espacement des tubes.

La quantité de chaleur évacuée par le luminaire et l'accroissement du rendement lumineux dépendent du type de luminaire et du volume d'air repris. Il en est de même de la perte de charge dans le luminaire et du niveau de bruit créé par le flux d'air le traversant. Les diagrammes thermique et aéraulique précisent les relations entre ces diverses grandeurs. Sur le diagramme thermique sont indiquées les relations entre le débit d'air et l'accroissement du rendement lumineux, d'une part, et les puissances dissipées dans certaines conditions, d'autre part. Si V est le volume d'air exprimé en m³/h, on pourra tracer sur ce diagramme, par exemple, les courbes *fig.* 14 a et b :

$Qe$ : pourcentage de la puissance totale absorbée en fonction de l'air extrait;

$Qb$ : pourcentage de la puissance totale extraite par l'air aspiré;

$Qr$ : pourcentage de la puissance totale absorbée par le luminaire, directement rayonné dans le local;

on a alors $Qe = Qb + Qr$.

Pour une reprise sous gaine, on peut distinguer :

$Qk$ : pourcentage de la puissance totale absorbée extraite dans la gaine de reprise;

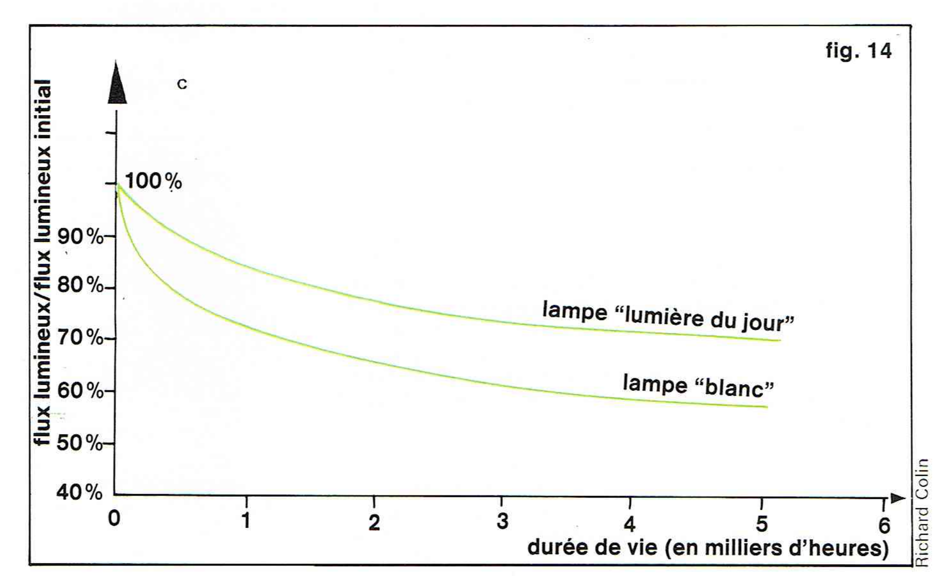
$Qp$ : pourcentage de la puissance totale absorbée diffusée dans le plénum.

Dans ce cas : $Qe = Qr + Qk + Qp$ (extrait d'une étude Philips).

A l'extérieur, il faut se prémunir du froid qui est encore plus néfaste que la chaleur.

### *Influence de la tension*

Les variations de tension ont des influences considérables, pour les lampes à incandescence, sur l'efficacité lumineuse, la durée de vie, la puissance absorbée.




Ses influences sont également importantes pour les lampes à décharge. Les caractéristiques varient linéairement pour les faibles variations de part et d'autre de la valeur nominale. Si nous prenons une augmentation de tension de 10 %, l'intensité du courant croît de 25 à 30 % et la puissance consommée de 25 % environ; le flux lumineux croît de 15 à 20 % et l'efficacité lumineuse de 5 à 10 %. Quand la tension décroît, l'allumage peut devenir impossible par insuffisance du préchauffage des électrodes; des phénomènes de battement peuvent aussi apparaître.

### *Effets stroboscopiques et papillotement*

Les lampes sont généralement alimentées en courant alternatif dont les passages à zéro entraînent une diminution de la température du filament, donc une diminution d'éclairement, et les passages aux maximums entraînent une augmentation de cet éclairement. Ces variations périodiques de flux lumineux ont une faible amplitude pour les lampes à incandescence qui possèdent des filaments à forte inertie calorifique. Par contre, pour les lampes fluorescentes, chaque passage à zéro de la tension annule le rayonnement ultraviolet; ce phénomène se produit 100 fois par seconde et génère un papillotement. Du fait des propriétés phosphorescentes des poudres, le flux lumineux ne cesse jamais complètement. Ce papillotement apparaît surtout aux extrémités des tubes et quand les lampes sont usées.

On supprime ce papillotement en alimentant deux tubes dont on déphase les tensions. On peut aussi alimenter trois tubes sur les trois phases d'un réseau triphasé dont les tensions sont naturellement déphasées de 120° les unes par rapport aux autres. On comprend aisément que le papillotement s'accentue quand la fréquence diminue. Si ces tubes éclairent des pièces en mouvement, des effets stroboscopiques gênants peuvent apparaître.

### *Les parasites des ondes hertziennes*

Ces tubes à décharge produisent des rayonnements électromagnétiques qui se traduisent par des parasites dans les postes de réception radiophonique placés à proximité. Ces rayonnements ont pour origine le rayonnement direct des lampes ou le rayonnement, ou conduction, du circuit d'alimentation. La portée est faible, de l'ordre de quelques mètres. On supprime ce phénomène en éloignant l'antenne du récepteur ou en filtrant le courant d'alimentation.

### *La durée de vie*

Pour les lampes à incandescence, la durée de vie moyenne est fixée à 1 000 heures par la norme C 72-100. Quand le flux lumineux a diminué de 20 %, on estime que la vie de la lampe a pris fin. Pour les lampes à décharge, la durée de vie est supérieure pour une même diminution du flux lumineux, à condition de respecter les clauses ci-après. Pendant les 100 premières heures, la diminution du flux lumineux peut atteindre 15 à 20 % du fait de la décroissance de l'efficacité des poudres fluorescentes par suite de la formation d'une pellicule métallique de mercure sur les parois du tube. Après ces cent heures, la décroissance est lente. Le flux lumineux atteint 70 à 80 % de la valeur, par rapport au flux initial, aux environs de 100 h et 60 à 70 % au bout de 5 000 h (*fig.* 14 c).

La durée de vie des tubes fluorescents dépend de la tension d'alimentation, de la température ambiante, des cycles d'allumage, de l'intensité du courant de décharge, du préchauffage insuffisant. Ce sont surtout les allumages qui provoquent l'usure des électrodes, c'est pourquoi des allumages répétés diminuent considérablement la vie de la lampe.

## *Principes d'un bon éclairage*

Il est souhaitable de respecter six principes généraux pour obtenir un éclairage rationnel : avoir un éclairement convenable, éviter les ombres accentuées, éviter l'éblouissement, réaliser un éclairement uniforme, choisir la teinte de la source, entretenir soigneusement les appareils.

**Éclairement convenable**

La luminance est l'élément le plus important de ce principe, quoique l'éclairement soit la base utilisable

dans les calculs des projets. L'éclairement permet la visibilité détaillée des objets sans fatigue des yeux. Pour trouver les niveaux d'éclairement corrects, il faut se souvenir de deux notions : le confort visuel qui détermine le bien-être de l'individu, et la performance visuelle, que l'on peut mesurer, et qui détermine la rapidité et la précision du travail effectué. Il faut donc connaître au départ la teinte de la tâche, le détail, le contraste avec le fond sur lequel repose l'objet, la distance d'observation, les dimensions des détails, le mouvement des objets, les temps d'observation... En règle générale, il faut majorer l'éclairement des objets en mouvement et de ceux qui nécessitent une observation prolongée.

**Éviter les ombres accentuées**

C'est moins les ombres que le contraste de luminances qui fatigue la vue. Pour les éliminer, il faut multiplier le nombre de sources ou placer les foyers lumineux dans des appareils qui augmentent la surface éclairante. L'éclairage indirect est une bonne solution, mais il supprime le relief, ce qui peut être un inconvénient.

**Éviter l'éblouissement**

L'éblouissement est toujours néfaste, qu'il soit obtenu par effet direct ou effet indirect, par « réflexion ». On doit choisir des appareils dont la luminance soit suffisamment faible pour ne pas provoquer de gêne.

**Éclairement uniforme**

On a toujours intérêt à éclairer uniformément le plan de travail pour augmenter les facultés visuelles de l'œil.

**Teinte de la source**

Il faut, en règle générale, que les sources diffusent une lumière qui s'approche le plus possible de la lumière naturelle. Si ce n'est pas le cas, la lumière artificielle doit altérer au minimum les couleurs des objets, notamment dans certaines applications comme les galeries d'art, les magasins de tissus. Dans les salons, salles de réunions, il ne faut pas que les visages soient « décolorés ».

**Entretien des appareils**

Les appareils doivent être nettoyés régulièrement et soigneusement; ils doivent donc être accessibles. L'éclairement peut décroître de 30 à 40 % en quelques semaines suivant l'empoussièrement.

## *Modes d'éclairage*

Considérons les principaux modes d'éclairage pour les lampes à incandescence et les tubes fluorescents (*tabl.* XIII).

**Éclairage direct.** Toute la lumière est dirigée vers le bas. Bien que déconseillé, ce mode d'éclairage constitue les 3/4 des modèles; il doit donc être bien choisi et bien installé.

**Éclairage semi-direct.** 60 à 90 % de la lumière sont dirigés vers le plan de travail, le reste est envoyé vers le plafond.

**Éclairages direct-indirect et mixte.** La répartition se fait également vers le haut et vers le bas.

**Éclairage indirect.** 90 à 100 % de la lumière sont dirigés vers le haut qui la diffuse si le plafond est une surface claire. C'est un éclairage « doux » qui atténue les ombres. Utilisé seul, il peut donner un aspect monotone à la salle. Il est à conseiller avec un plafond blanc et une source lumineuse de forte puissance.

**Éclairage semi-indirect.** 60 à 90 % du flux sont dirigés vers le plafond.

Le *tableau* XIV donne en valeurs relatives l'éclairement du plan de travail en fonction de la puissance utilisée.

## *Propriétés optiques de la matière*

Quand un faisceau lumineux atteint une surface de séparation de deux milieux, il apparait des phénomènes de réflexion, d'absorption, de transmission et de diffusion.

### *Réflexion*

Quand un rayon lumineux tombe sur une surface et est renvoyé avec ou sans modification des ondes qui le constituent, on dit qu'il y a réflexion. Le point où tombe le rayon lumineux est le point d'incidence. L'angle que fait la normale à la surface avec le rayon émis est l'angle d'incidence; l'angle entre cette normale et le rayon réfléchi est l'angle de réflexion. Si ces deux angles sont égaux, on dit qu'il y a réflexion spéculaire.

Une glace donne une réflexion spéculaire, car les rayons réfléchis donnent l'image exacte sans déformation de l'objet émetteur. Les métaux utilisés sont l'argent poli (qui réfléchit 90 % de la lumière), l'aluminium poli (qui ne réfléchit que 62 % de la lumière), le verre argenté. Si la surface est rugueuse et composée de nombreuses petites particules réfléchissantes, la réflexion est diffuse, il y a dispersion; on trouve dans cette catégorie le papier blanc mat, la neige, les plafonds en plâtre, le papier buvard, les peintures blanc mat. Une réflexion ni spéculaire ni diffuse est mixte (*tableau* XV).

### *Absorption*

L'absorption a lieu quand un rayon lumineux traverse une atmosphère peu transparente comme de la fumée. Le rayon lumineux émis peut être partiellement ou totalement absorbé, c'est le cas de la rencontre d'un rayon avec un corps transparent coloré : une partie est complètement absorbée par l'écran, l'autre le traverse. L'absorption est neutre si toutes les longueurs d'onde sont absorbées dans le même rapport, sélective si le rapport n'est pas le même.

### *Réfraction*

Quand un rayon lumineux passe d'un milieu à un autre, il est dévié; on dit qu'il y a réfraction. C'est le changement de la vitesse de la lumière qui provoque ce changement de direction. Si le nouveau milieu est plus dense, la vitesse est réduite, et réciproquement.

**Tableau XIII**
**Les principaux modes d'éclairage pour les lampes à incandescence et les tubes fluorescents**

| Modes d'éclairage | Pourcentage d'éclairement | |
|---|---|---|
| | vers le haut | vers le bas |
| **Lampes à incandescence** | | |
| Direct | 0 | 75 |
| Semi-direct | 18 | 65 |
| Direct-indirect | 45 | 40 |
| Mixte | 40 | 43 |
| Semi-indirect | 60 | 22 |
| Indirect | 90 | 0 |
| **Lampes fluorescentes** | | |
| Lampes nues | 50 | 50 |
| Direct | 0 | 75 |
| Semi-direct | 22 | 49 |
| Direct-indirect | 40 | 38 } suivant le type |
| Direct-indirect | 51 | 40 } d'appareil |

**Tableau XIV**
**Éclairement (en valeurs relatives) d'un plan de travail en fonction de la puissance utilisée et du mode d'éclairement**

| Puissance \ Mode | Direct | Semi-direct | Mixte | Semi-indirect | Indirect |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 W | 62 | 50 | 40 | 33 | 20 |
| 60 W | 92 | 75 | 60 | 50 | 32 |
| 80 W | — | — | 80 | 65 | 45 |
| 100 W | — | — | 98 | 83 | 55 |

▲ *Tableau XIII : les principaux modes d'éclairage pour les lampes à incandescence et les tubes fluorescents.*
*Tableau XIV : éclairement d'un plan de travail en fonction de la puissance utilisée et du mode d'éclairement.*

▶ *Tableau XV : réflexion de la lumière sur différents matériaux et peintures.*

**Tableau XV**
**Réflexion de la lumière sur différents matériaux et peintures**

| Peintures et matériaux | Facteur de réflexion |
|---|---|
| **Peintures blanches** | 0,70 à 0,80 |
| **Peintures grises** | |
| 100 g de blanc de zinc et : | |
| 5 g de noir d'ivoire | 0,66 |
| 25 g de noir d'ivoire | 0,36 |
| 40 g de noir d'ivoire | 0,23 |
| 50 g de noir d'ivoire | 0,19 |
| **Peintures roses** | |
| 100 g de blanc de zinc et : | |
| 5 g de terre de Sienne brûlée | 0,65 |
| 25 g de terre de Sienne brûlée | 0,44 |
| 40 g de terre de Sienne brûlée | 0,37 |
| 50 g de terre de Sienne brûlée | 0,30 |
| **Papiers peints unis** | |
| Blanc | 0,67 à 0,76 |
| Crème | 0,69 |
| Paille | 0,65 |
| Chamois | 0,65 à 0,66 |
| Gris trianon | 0,78 |
| Pierre | 0,37 |
| Gris ardoise | 0,19 |
| Noir | 0,04 |
| **Matériaux** | |
| Marbre blanc | 0,83 |
| Carreau de faïence blanche | 0,70 |
| Tôle émaillée blanche et mate | 0,60 à 0,83 |
| Tôle émaillée polie | 0,65 à 0,77 |
| Argent poli | 0,90 à 0,92 |
| Aluminium oxydé ou dépoli | 0,70 à 0,89 |
| Chrome poli | 0,63 à 0,66 |
| Aluminium poli | 0,62 |
| Acier inoxydable au chrome-nickel | 0,55 |
| Brique amiante blanche | 0,62 |
| Brique jaune | 0,45 |
| Brique rouge | 0,20 |
| Ardoise | 0,10 |

▼ *Tableau XVI : éclairements moyens recommandés en fonction de l'activité par la Fédération des associations d'éclairage de l'Europe occidentale.*

**Tableau XVI**
**Éclairements moyens recommandés en fonction de l'activité par la Fédération des associations d'éclairage de l'Europe occidentale**

| Type d'éclairage | Éclairement (en lux) | Type d'activité ou exemple |
|---|---|---|
| Général, mais activité intermittente ou tâche grossière | 20 | Minimum pour la circulation à l'extérieur |
| | 30 | Cours et entrepôts |
| | 50 | Parkings, allées de communication |
| | 100 | Chargement et déchargement, quais et docks |
| | 150 | Voies de circulation intérieure, escaliers, magasins |
| Général, lieux de travail continu | 200 | Minimum pour la tâche visuelle |
| | 300 | Grosse mécanique, tâches industrielles diverses, lecture et écriture |
| | 500 | Mécanique moyenne, imprimeries, dactylographie, travaux de bureaux |
| | 750 | Bureaux de dessin, mécanographie |
| | 1 000 | Mécanique fine, gravure, comparaison des couleurs, dessins difficiles |
| Général ou localisé | 1 500 | Mécanique de précision, électronique fine contrôles divers |
| Localisé | 2 000 | Tâches très difficiles dans l'industrie ou le laboratoire |

***Transmission***

La transmission est le passage de rayons lumineux dans un milieu donné sans que les fréquences qui le composent soient modifiées. En traversant ce milieu, une partie est absorbée. Le rapport entre le flux sortant (transmis) et le flux entrant (incident) est appelé facteur de transmission.

### *Valeurs de quelques éclairements et luminances*

La sensation de confort n'est pas seulement liée à la possibilité d'exécuter correctement une tâche. Un éclairement faible, suffisant pour une gare de triage par exemple, ne le serait pas pour écrire et conduirait à une sensation très désagréable. 2 000 lux est la valeur que des observateurs ont accordée pour avoir un niveau d'éclairement suffisant dans tous les cas avec des sources non éblouissantes. La notion de confort est ressentie de façon différente suivant les époques et les pays, elle varie avec le niveau économique. Les recommandations des États-Unis ou de la Suède sont supérieures à celles de l'Europe occidentale; elles sont remises à jour périodiquement pour suivre les progrès techniques. Le *tableau* XVI donne les éclairements moyens recommandés en fonction de l'activité par la Fédération des associations d'éclairage de l'Europe occidentale. « Ces éclairements sont ceux à obtenir au milieu de la période s'étendant de la mise en service jusqu'au premier entretien. Ils dépendent donc de l'empoussièrement de l'installation, de la chute de flux des lampes... »

L'œil humain est sensible à des éclairements compris entre 1/3 000e de lux et 100 000 lux. Par jour clair, près d'une fenêtre à l'intérieur d'une habitation, l'éclairement est de quelques centaines de lux. A l'ombre, en plein air, quelques milliers de lux. En été, en plein soleil, à midi, l'éclairement est de 100 000 lux. D'autres recommandations donnent un ordre de grandeur des luminances en fonction des sources et des éclairements minimaux en fonction des travaux.

## *Les appareils d'éclairage ou luminaires*

Un luminaire est un appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière des lampes; il comprend toutes les pièces nécessaires pour fixer et protéger les lampes, et pour les relier au circuit d'alimentation. Il fournit une autre répartition des intensités lumineuses en évitant des luminances gênantes dans le champ visuel et en rendant plus efficace l'éclairage du plan de travail.

Une première caractéristique importante est la répartition des intensités dans les zones supérieure et inférieure. La norme UTE 71-121 les répartit dans 5 zones de l'espace : l'hémisphère inférieur est découpé en 4 zones, la cinquième étant l'hémisphère supérieur.

Une seconde caractéristique est le rendement, qui est le rapport du flux lumineux sortant du luminaire dans les conditions normales d'emploi au flux qu'émettrait la lampe ou les lampes équipant ce luminaire et fonctionnant en dehors de lui. Le rendement total est égal à la somme du rendement hémisphérique inférieur et du rendement hémisphérique supérieur. La répartition hémisphérique supérieure ne possède qu'une classe désignée par la lettre T. La répartition inférieure, qui joue un rôle beaucoup plus important que la précédente, possède 10 classes désignées par les lettres A à J. La Commission internationale de l'éclairage (CIE) classe les luminaires d'éclairage intérieur en fonction de la distribution du flux lumineux.

Parmi les autres caractéristiques, on trouve l'esthétique qui a un caractère souvent déterminant dans le choix; les fabricants ont généralement toutes les possibilités pour allier l'esthétique à la technique. Viennent ensuite des qualités pratiques comme les facilités de pose et dépose, l'empoussièrement, la tenue dans le temps des matériaux, etc. Tous les luminaires doivent être conformes aux normes en vigueur relatives à la protection électrique, à la protection mécanique et au comportement thermique.

**Protection électrique**

Il s'agit d'éviter tout contact direct avec les pièces sous tension quand on retire toutes les pièces sans l'aide d'un outil, sauf les lampes et les chemises de douilles. Pour les parties métalliques qui pourraient être mises sous tension par contact indirect, les appareils sont classés en quatre catégories suivant les normes NF C 20-030 et NF C 71-110 (*fig.* 15).

**Protection mécanique**

La Commission internationale de l'éclairage a établi une classification relative au degré de protection des luminaires contre la pénétration de l'humidité, de la poussière et à la résistance aux chocs. Cette classification est donnée par la norme NF CF 71-110.

**Comportement thermique**

Les températures doivent être limitées pour ne pas causer ou alimenter des incendies. On utilise les symboles suivants :

M0 = incombustible
M1 = non inflammable
M2 = difficilement inflammable
M3 = moyennement inflammable
M4 = facilement inflammable
M5 = très facilement inflammable

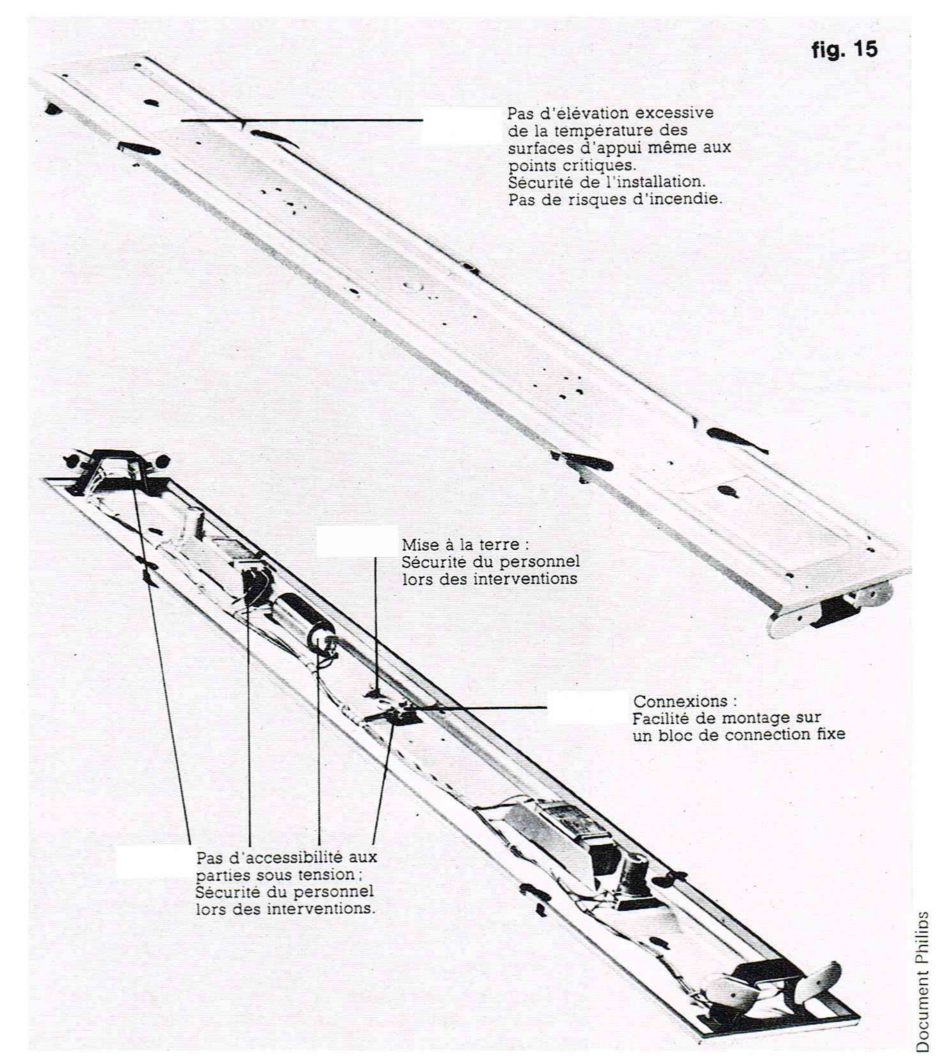
## *Luminaires pour lampes à incandescence*

### *Décoration*

On trouve sur le marché plusieurs centaines de modèles de luminaires destinés à la décoration, aussi bien pour usage intérieur qu'extérieur. Le design joue un rôle prépondérant, car, mis à part la douille, le fil d'alimentation et éventuellement le réflecteur, tout le reste n'est qu'habillage. L'esthéticien peut jouer à l'infini avec les formes.

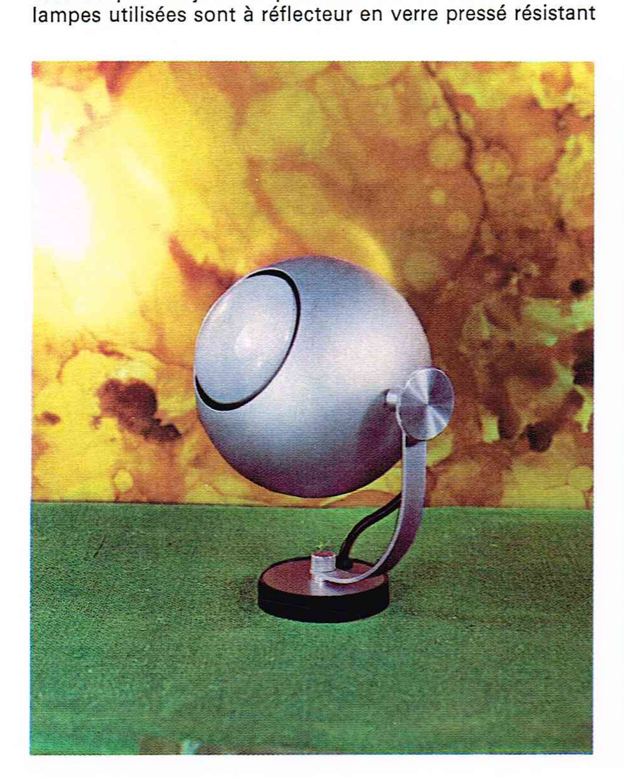
On trouve des **spots** très simples qui ne comportent qu'un tube : corps pour protéger la douille et une potence qui permet le réglage de l'orientation et la fixation du luminaire au mur, au plafond ou sur le sol, soit en positionnement fixe, soit sur rail conducteur. Le tube peut être remplacé par une sphère ou un profilé.

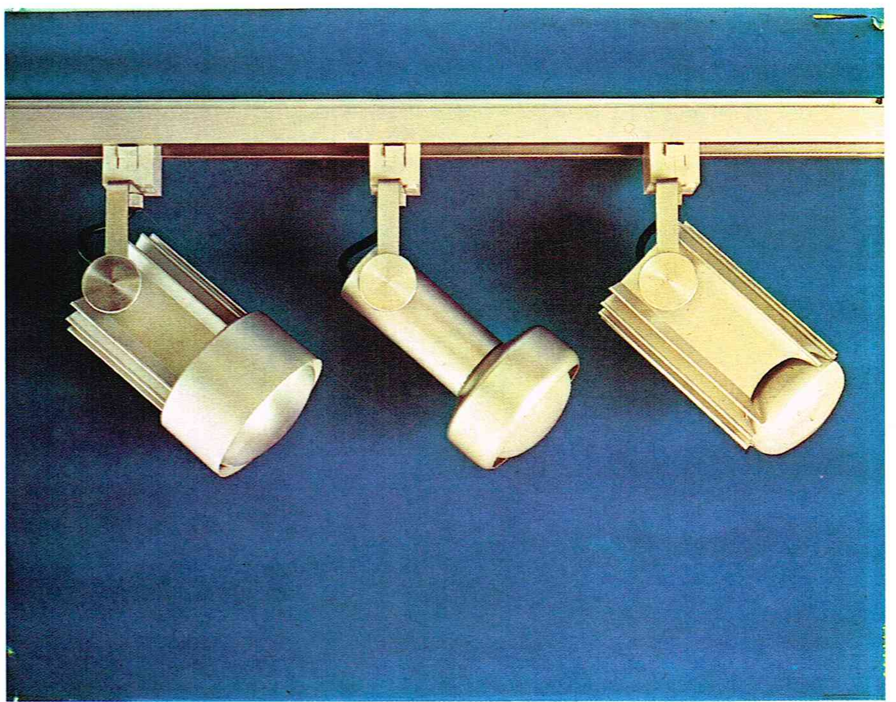
Si on lui adjoint un réflecteur, le spot devient **projecteur.** Si on supprime la potence, les luminaires précédents deviennent des plafonniers que l'on fixe au plafond par une extrémité du tube. L'ensemble peut être encastré ou non. La douille peut être fixée à un abat-jour ou à un globe et suspendue à un fil. Si l'on emploie les spots à l'extérieur, l'étanchéité corps-lampe est assurée par un joint le plus souvent en silicone, et les lampes utilisées sont à réflecteur en verre pressé résistant




▲ ***Figure 15 : dispositifs de sécurité (respect de la norme C 71-110).***

▼ ***Spots lumineux sur patère (à gauche) et sur rail (à droite).***







▶ *Appareils décoratifs pour l'éclairage des voies tertiaires.*

Document Philips

aux chocs thermiques sans protection particulière. Pour l'extérieur, on trouve une gamme d'appareils décoratifs, antivandalisme ou non, pour l'éclairage des voies tertiaires, le balisage des chemins piétonniers, l'éclairage des massifs.

***Hublots étanches***

Ils sont composés d'un socle en fonte et d'une verrine en verre maintenue par des vis imperdables. L'étanchéité est assurée par un joint souple en caoutchouc. Un presse-étoupe est placé aux entrées de courant. Le verre peut être circulaire ou allongé.

***Hublots antidéflagrants***

Ces luminaires sont utilisés dans les lieux où l'on peut trouver des vapeurs, gaz inflammables ou liquides volatils. Ils ne sont pas détériorés par une explosion interne, et surtout laminent la flamme produite, l'empêchant de se propager à l'extérieur. Leurs corps sont en acier ou en fonte et les vasques en verre dur.

***Projecteurs pour lampes tungstène-halogène***

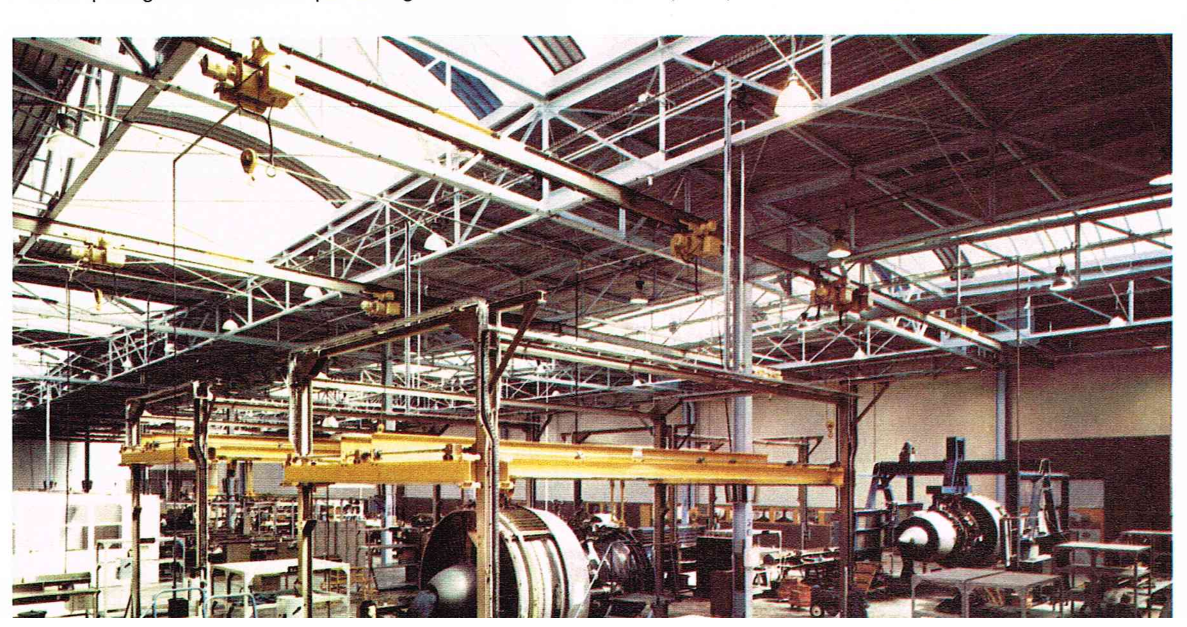
Ils sont composés d'un corps, généralement en alliage léger et avec des ailettes de refroidissement, à l'intérieur duquel se place un réflecteur en aluminium brillanté martelé protégé de l'extérieur par une glace de sécurité en verre trempé. Le corps est fixé à son support par l'intermédiaire d'une fourche qui permet une orientation variable. Le marché offre aux clients des projecteurs étanches pour lampes de 250 à 1 500 watts. Ils sont principalement utilisés pour l'éclairage des stades, des terrains de sport, des salles omnisports, des patinoires, des piscines, des aérodromes, des chantiers, des parkings, illuminations, son et lumière, panneaux publicitaires, vitrines de magasins, éclairages de frondaisons, etc.

***Projecteurs et lanternes de chantier***

Ce sont des appareils hermétiques, étanches ou non, certains pouvant résister aux chocs, d'autres n'ayant qu'une grille pour protéger la lampe. Quand il existe, le verre trempé est souvent protégé par un grillage. Le corps est maintenu par une potence ou suspendu à un crochet. Certains modèles acceptent des lampes de 500 watts. Ils sont utilisés pour l'éclairage à petite, moyenne et grande distance de chantiers de travaux publics, l'éclairage d'accès et de circulation, de balisage.

***Réflecteurs pour l'industrie***

Ces luminaires, très simples, sont constitués d'un réflecteur en tôle émaillée ou laquée blanc ou en aluminium. Ils sont suspendus au plafond par un tube. On les emploie pour éclairer les ateliers.



▶ *Éclairage d'un hangar de réparation Air France de réacteurs à Roissy.*

## *Luminaires pour lampes fluorescentes*

### *Appliques*

Comme pour les luminaires utilisés en décoration avec les lampes à incandescence, on trouve sur le marché quantité de modèles suivant la forme de l'habillage. Quel que soit son « design », une applique est toujours constituée d'une réglette en métal ou en matière plastique contenant le ballast d'alimentation et de deux embouts qui supportent la lampe. Cette dernière peut être nue ou protégée par une vasque diffusante ou lisse. Les applications sont multiples pour l'éclairage intérieur des entrées, cuisines, salles de bains, vitrines, etc.

### *Diffuseurs non encastrés*

Ils sont constitués d'une platine métallique emboutie qui sert à la fixation de l'appareil et de support aux douilles, starter, dominos, fils, etc., et d'un diffuseur. Leurs lignes sont sobres, ce qui permet de les mettre en place sans problème particulier d'esthétique. Le panneau diffusant peut être une simple plaque; dans ce cas, l'éclairage est direct ou peut posséder des panneaux latéraux qui augmentent l'angle d'ouverture du diagramme des intensités lumineuses. Les diffuseurs peuvent être des vasques en matière plastique, des grilles métalliques ou plastiques, des lames métalliques ou plastiques. Un réflecteur peut être placé derrière la lampe. Ils peuvent être équipés d'un nombre variable de lampes, le plus souvent une ou deux. On peut les fixer directement au plafond ou les suspendre. Leur forme est le plus souvent rectangulaire, quelquefois circulaire pour les tubes de même forme. Ces luminaires sont très utilisés dans les bureaux, magasins, salles d'attente, laboratoires, salles d'examen, salles de dessin industriel, bibliothèques, salles d'ordinateurs, cantines, restaurants, galeries d'art, etc.

### *Diffuseurs encastrés*

.Ces appareils ont été créés de manière à s'intégrer dans les faux plafonds de plus en plus utilisés dans les bâtiments modernes. Il faut qu'ils s'adaptent parfaitement aux modules du plafond, que leur mise en place soit simple et rapide, que la maintenance puisse se faire sans difficulté. Leur esthétique doit être étudiée de manière à pouvoir résoudre les problèmes d'ambiance qui se posent aux architectes.

Ils sont constitués d'un caisson et d'un diffuseur. Le caisson a le même rôle que la platine des diffuseurs non encastrés. Les vasques peuvent être satinées, à pointe de diamant, ou des grilles entièrement métalliques ou en matière plastique. Ils sont utilisés pour l'éclairage des magasins, halls de réception, couloirs, etc., de la même façon que les systèmes non encastrés.

### *Diffuseurs encastrés à reprise d'air*

Deux raisons principales sont à l'origine de la création de ce luminaire (*fig.* 16) :

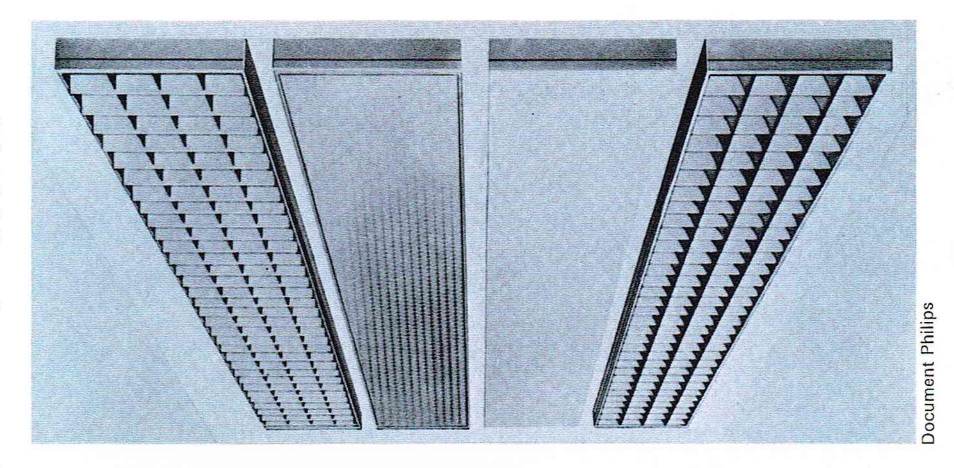
— le conditionnement d'air qui équipe les locaux modernes nécessite une extraction de l'air vicié; une solution économique sur le plan technique et esthétique consiste à reprendre l'air, soit par des ouïes, soit en sommet de caisson;

— le confort visuel entraîne de hauts niveaux d'éclairement et la nécessité d'augmenter le nombre et la puissance des tubes fluorescents, d'où la chaleur dégagée.

La solution précédente est avantageuse et permet d'évacuer les calories dues aux luminaires. Cela permet d'éliminer les zones de chaleur qui se créent sous les appareils et en diminuent le confort, ainsi que les poussières qui se déposent sur les tubes et les diffuseurs, de faire fonctionner les lampes à la température où elles ont le meilleur rendement. On peut adjoindre à ces appareils un réseau de soufflage d'air. Ces appareils augmentent les surfaces non acoustiques du plafond et détériorent l'insonorisation. Applications : bureaux, salles de réunion, halls.

### *Réflecteurs industriels*

Comparés aux précédents, ce sont des appareils simplifiés pour lesquels l'esthétique a moins d'importance; par contre, ils sont très robustes et de haut rendement lumineux. Ils s'installent facilement dans toutes les charpentes industrielles. Ils se composent d'une platine, d'un réflecteur et éventuellement d'une grille de défilement. Des pièces de mise en ligne permettent de réaliser des lignes continues. Ils sont utilisés dans les ateliers de fabrication, de mécanique, de montage, halls de machines, halls de stockage, entrepôts. Ils peuvent être équipés de une, deux, trois ou quatre lampes.

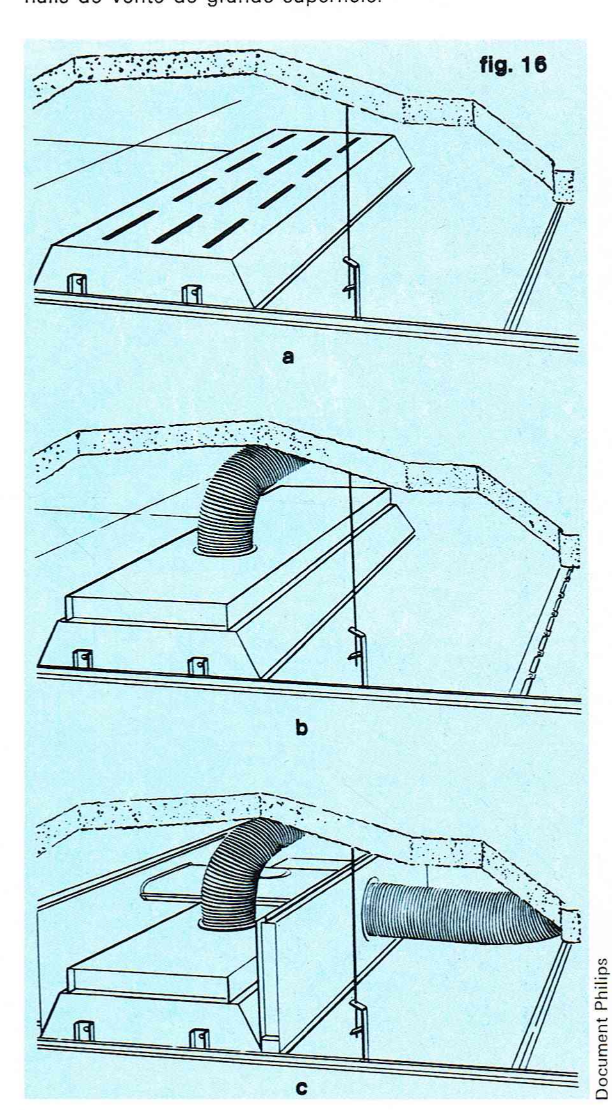


Document Philips

*▲ Quelques types de diffuseurs : grille, pointe de diamant, satiné.*

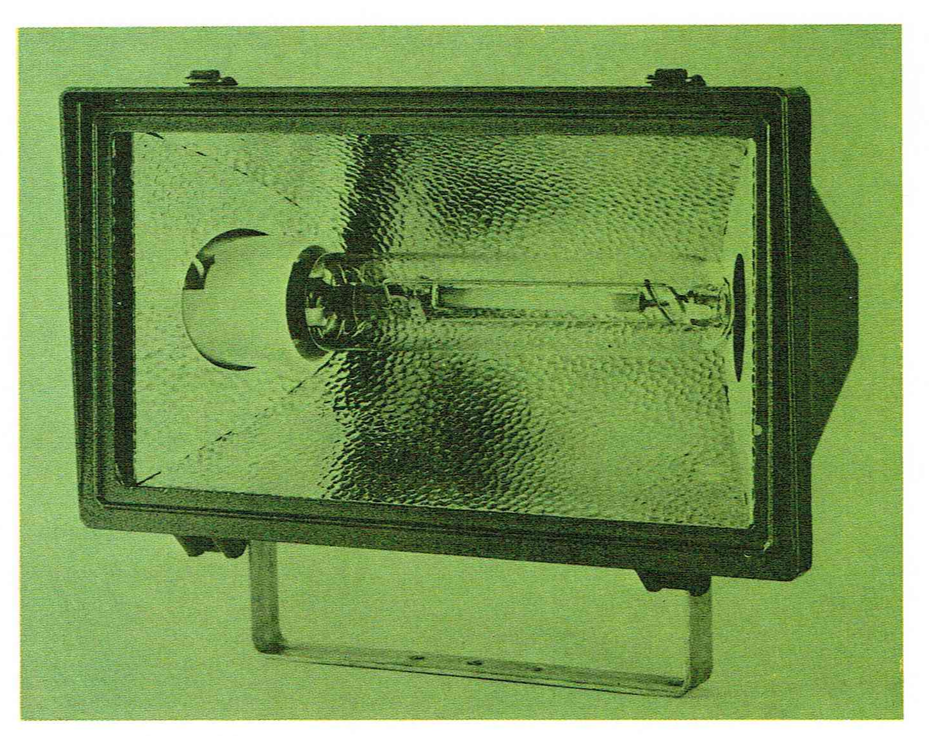
### *Rampes d'éclairage continues*

Ces luminaires sont composés d'une platine sur laquelle, à volonté, on peut adapter un réflecteur. On place ces platines bout à bout pour constituer une ligne. On les utilise le plus souvent dans les supermarchés et halls de vente de grande superficie.




Document Philips

*◀ Figure 16 : appareils d'éclairage à reprise d'air; a, vers plénum en dépression; b, branché sur canalisation d'évacuation; c, appareil à reprise d'air et à soufflage d'air branché sur canalisation double.*



▲ *Projecteur à orientation variable. Le réflecteur est en aluminium brillanté et martelé.*

▼ *Lampes à décharge spéciale pour la croissance des plantes (décharge dans la vapeur de mercure haute pression).*



#### *Luminaires étanches*

On les utilise dans les locaux à atmosphère humide, corrosive, poussiéreuse ou qui présentent des risques d'explosion, caves, garages, laveries, couloirs souterrains, piscines, cuisines de cantine, blanchisseries, parkings, abattoirs, chaufferies, conserveries, ateliers de traitement de surface, raffinerie, industrie chimique, fabriques de gaz, d'hydrogène, poste de charge d'accumulateurs...

On trouve dans ces modèles des réglettes dans lesquelles les lampes sont placées chacune dans un tube protecteur et dont l'étanchéité est assurée aux deux extrémités des luminaires avec platine et vasque et presse-étoupe pour le passage des câbles. Ils peuvent être équipés de une ou deux lampes.

#### *Rails*

Un rail électrique est un profilé à l'intérieur duquel sont logés plusieurs conducteurs placés dans une gaine qui les isole sur les 4/5$^{es}$ de leur circonférence environ. Une surface longitudinale reste donc à nu et permet la liaison électrique avec des appareils accrochés au rail. Une autre solution consiste à placer un câble méplat multiconducteur à l'intérieur du rail ; les liaisons avec les luminaires sont faites à l'aide de boîtes de dérivation. Ces rails sont reliés entre eux par des jonctions en T, L ou X suivant les besoins.

#### *Autres luminaires*

Citons les réflecteurs pour tableaux d'école ; les appliques pour hôpitaux où l'éclairage joue un rôle important sur l'organisme du malade : la lumière doit être sécurisante pour atténuer les angoisses. Les appliques sont généralement plus complexes que celles utilisées dans les autres utilisations.

Pour les transports, les réglettes sont à ballast transistorisé et convertisseur qui transforme le courant continu en courant ondulé à la fréquence de quelques kHz. On les utilise dans les autobus, le métro, le train, les caravanes, etc.

### *Luminaires pour lampes à décharge*

#### *Projecteurs pour lampes sodium haute pression*

Ils sont composés d'un corps, généralement en alliage léger, avec des ailettes de refroidissement, à l'intérieur duquel se place un réflecteur en aluminium brillanté, martelé ou non, protégé de l'extérieur par une glace de sécurité en verre trempé. Le corps est fixé à son support par l'intermédiaire d'une fourche qui permet une orientation variable. Ils peuvent être équipés de lampes dont la puissance est 200 watts. On les utilise à l'extérieur sur les stades, les terrains de sport, les aérodromes, les chantiers navals, les gares de triage, les parkings, les docks, les échangeurs, et à l'intérieur des patinoires, des salles omnisports.

#### *Réflecteurs industriels pour ballons fluorescents ou lampes sodium haute pression*

Ce sont des réflecteurs hémisphériques en tôle émaillée ou aluminium oxydé brillanté. L'appareillage d'alimentation est placé au niveau de la douille et protégé par un cylindre métallique. Ils sont de grandes dimensions, le diamètre varie entre 400 et 800 mm et la hauteur de 400 à 650 mm environ. Leur masse est importante : 2 à 14 kg. Ils sont suspendus à la charpente des locaux. On peut y monter des lampes allant jusqu'à 2 000 W. On les utilise principalement dans les halls de montage ou d'essais de grands volumes.

Dans le cas d'éclairage extérieur routier, le réflecteur est plus esthétique et doit s'harmoniser avec l'environnement. Le luminaire comprend une platine fixée au candélabre, une vasque et un miroir. La platine renferme l'appareillage. La lampe à vapeur de sodium haute pression est très utilisée pour l'éclairage des monuments, cathédrales, églises, châteaux.

#### *Réflecteurs pour le forçage des plantes*

Certaines lampes à vapeur de mercure haute pression et à ballon fluorescent ont un spectre lumineux qui favorise la croissance et le développement des végétaux grâce à la photosynthèse. Ces réflecteurs sont principalement utilisés dans les serres pour le forçage des plantes. Ils

sont constitués d'un réflecteur et d'une platine qui contient l'appareillage. Les lampes qui les équipent ont des puissances de 250 à 400 watts.

***Hublots étanches pour ballons fluorescents***

Ils sont composés des mêmes éléments que les hublots pour lampes à incandescence, mais sont plus volumineux. On y place des lampes dont la puissance peut aller jusqu'à 400 watts, suivant le modèle.

***Luminaires pour lampes à vapeur de sodium basse pression***

Ces lampes, utilisées très souvent pour l'éclairage des circuits routiers, sont montées dans un réflecteur semblable à celui utilisé précédemment. Mis à part l'appareillage et la forme, les composants sont toujours une platine, une vasque et un réflecteur (*fig.* 17).

## Éclairage de sécurité

Les pouvoirs publics attachent une grande importance aux problèmes de sécurité et notamment au règlement relatif aux risques de paniques. Il existe des éclairages de sécurité, de panique et de remplacement. Le premier doit permettre, lorsque l'éclairage normal est défaillant, l'évacuation sûre et facile du public vers l'extérieur ainsi que les manœuvres intéressant la sécurité et l'intervention des secours. Le second est une variante réservée aux locaux dont l'exploitation exige l'obscurité. Le troisième permet de poursuivre l'exploitation de l'établissement en cas de défaillance de l'éclairage normal.

Pour assurer ces fonctions, on trouve sur le marché des ensembles compacts constitués d'une batterie de grande fiabilité comme celle au nickel-cadmium, d'un chargeur, d'une commande de commutation et télécommande, d'une commande de mise au repos locale ou à distance, d'ampoules à longue durée de vie. Des inscriptions peuvent être portées sur la vasque : sortie, sortie de secours, flèche ; l'enveloppe extérieure doit être peu inflammable. Leur forme est généralement parallélépipédique pour s'adapter au mieux à l'environnement et aux exigences des architectes. Les lampes peuvent être à incandescence ou fluorescentes.

## Les gradateurs de lumière

Ils utilisent un appareillage électronique ou non, complexe, des ballasts spéciaux (dans le cas de la fluorescence), un câblage plus important (toujours en fluorescence). Ils trouvent leurs applications dans les salles de réunion et de conférences, les amphithéâtres, les salles d'exposition, les salles de contrôle, dispatching, théâtres, cinémas, galeries d'art, studios de photographie. Cette solution permet d'utiliser un local aussi efficacement que possible avec un éclairage dépendant ou non de l'éclairage naturel. C'est une solution pratique.

# Fabrication

Que les lampes soient à incandescence, à décharge ou fluorescentes, leurs cycles de fabrication sont comparables. Comme nous l'avons vu précédemment, un très grand nombre d'entre elles sont équipées de filaments. Le tungstène qui les compose est obtenu par frittage. On agglomère sous pression de la poudre de tungstène obtenue par des procédés chimiques. Les lingots qui résultent de cette opération sont chauffés par passage d'un courant intense qui soude les particules entre elles. Ils sont ensuite martelés à chaud jusqu'à l'obtention d'un fil de faible diamètre qui est passé dans une filière en diamant. Le diamètre final varie entre 0,015 et 0,5 mm. Si nous faisons un simple calcul pour mettre en évidence la petitesse du fil, nous nous apercevons qu'avec un fil en tungstène de 4 m de longueur et 1 mm de diamètre, on fabrique 17,7 km de fil de 15 microns de diamètre.

Les fils sont successivement spiralés pour former les filaments autour d'un fil de molybdène ou d'acier. L'ensemble est à nouveau spiralé de manière à obtenir un double spiralage (bispiralé), qui est parfois encore spiralé (trispiralé).

Avant fabrication, les ampoules (ou ébauches) présentent un « col » relativement long et étroit qui permettra le scellement sur le pied. Les dimensions des lampes tubes doivent être rigoureuses par l'utilisation qui en est faite (voyants de signalisation par exemple).

## Lampes à incandescence

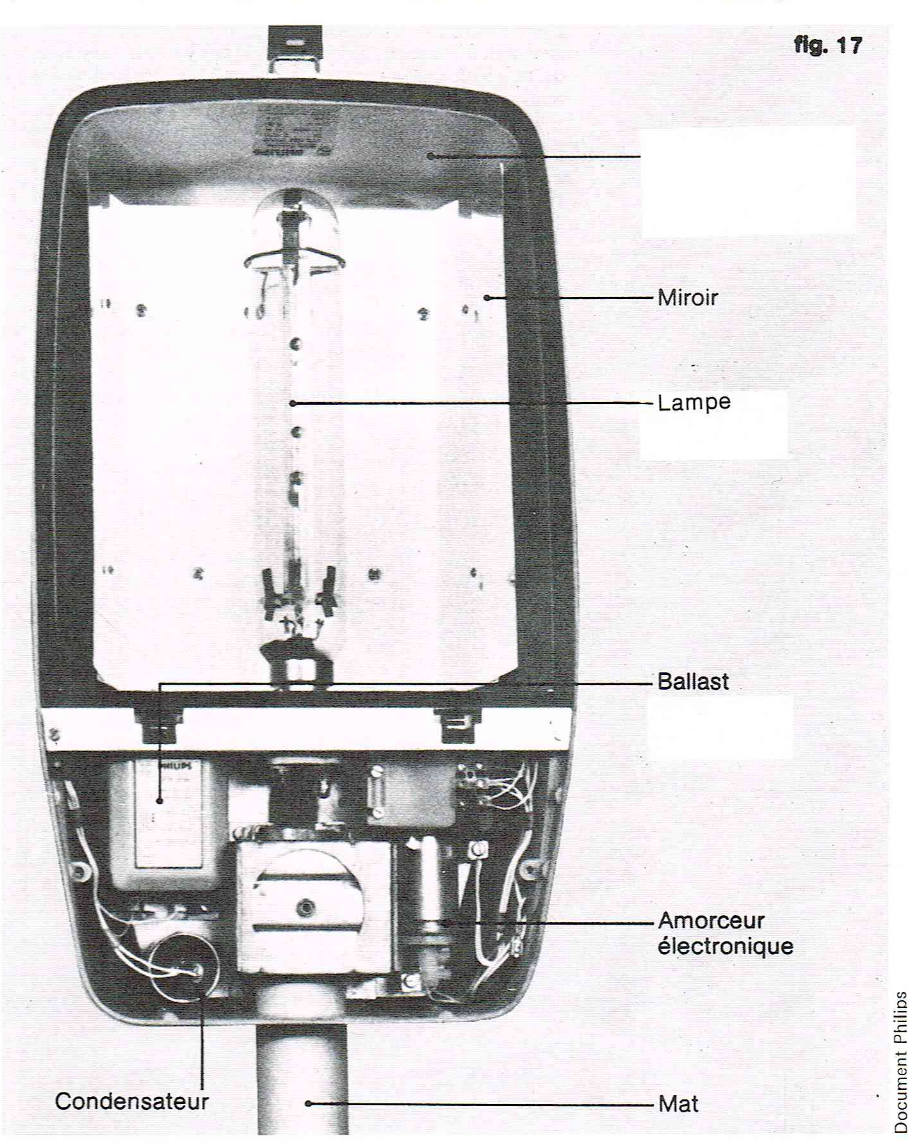
**Fabrication des pieds**

Le pied est la partie en verre qui ferme l'ampoule et qui est traversée par les arrivées de courant. En son centre, et dirigée vers l'intérieur de l'ampoule, se trouve la tige support. Le matériau de base est une canne en cristal montée verticalement, dont on chauffe fortement une extrémité en lui imprimant un mouvement de rotation. Simultanément, une pièce métallique est introduite en son centre, de bas en haut, et soumise elle aussi à un mouvement de rotation inverse de celui de la canne, de façon à évaser l'extrémité pour que le verre prenne la forme d'un cône très ouvert. L'ensemble est coupé, la canne avance et le cycle recommence. La machine automatique qui effectue ces opérations est appelée « évaseuse ».

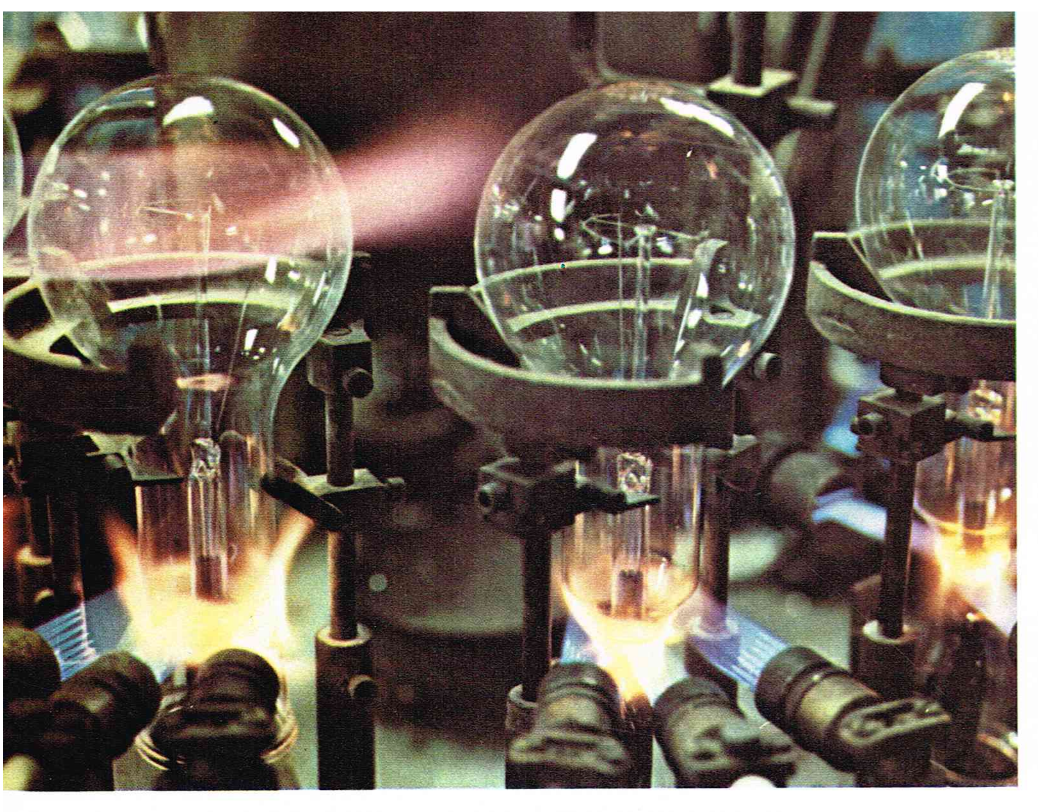
Le pied se compose : d'un évasement ; d'un « queusot », pièce très importante puisque c'est un petit tube en verre débouchant à l'intérieur de l'ampoule qui permet d'y faire le vide et de la remplir de gaz inerte ; de deux entrées de courant ; d'une tige dans laquelle seront piqués les supports du filament. Le pied terminé, on peut monter le filament.

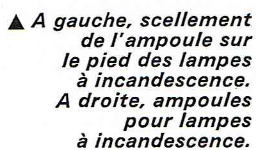
**Scellement des pieds.** Vient ensuite l'opération de scellement du pied sur l'ampoule. Le pied est tenu verticalement, le filament dirigé vers le haut. L'ampoule est présentée au-dessus du pied et descendue jusqu'à ce que le filament soit en son centre. Des rampes chauffent

***▼ Figure 17 : détail d'un luminaire d'éclairage public pour lampe à vapeur de sodium basse pression.***




Document Philips





▲ *A gauche, scellement de l'ampoule sur le pied des lampes à incandescence. A droite, ampoules pour lampes à incandescence.*

fortement le goulot de l'ampoule au niveau du pied. Le verre se ramollit et, par un phénomène de striction, vient au contact du pied; l'ensemble se soude et l'excédent de verre de l'ampoule se détache automatiquement.

**Pompage.** Le pompage consiste à faire le vide dans l'ampoule par l'intermédiaire du tube qui traverse le pied. Il ne doit rester aucune impureté ni trace d'humidité, c'est pourquoi, après avoir fait le vide, on introduit un « getter », puis le gaz, argon, krypton, etc., après quoi on coupe le queusot, qui est la partie en verre qui dépasse extérieurement du pied.

**Culottage.** Le culot est mis en place. Il est collé au tube à l'aide d'une pâte qui se polymérise.

**Contrôle.** Toutes les lampes sont contrôlées, non seulement en fin de fabrication, mais en cours de chaîne.

**Emballage.** Les lampes sont placées séparément dans des boîtes, puis dans des cartons pour être expédiées.

## *Lampes fluorescentes*

Le schéma synoptique de la *figure* 18 illustre bien les phases de fabrication des tubes fluorescents.

**Enduction.** L'opération d'enduction consiste à enduire l'intérieur du tube d'une mince couche de poudre fluorescente, activée par des ions de terre rare, qui a pour objet, nous l'avons vu précédemment, d'agir comme un transformateur de fréquence de rayonnement. Pour permettre une manipulation et une mise en œuvre aisées, ces poudres sont mélangées à un liant. Deux méthodes permettent l'enduction des tubes :

— La première méthode consiste à placer les tubes verticalement et à injecter le liquide (poudre fluorescente et liant) par le bas jusqu'à ce que le niveau atteigne le sommet des tubes.

On supprime alors l'arrivée du liquide, le niveau descend, une couche résiduelle se dépose sur les tubes qui sont séchés avant l'opération suivante.

— La deuxième méthode consiste à placer les tubes verticalement et à injecter le liquide par la partie supérieure des tubes, contrairement à la méthode précédente. Un parapluie d'enduit s'écoule le long des parois internes. Les tubes sont égouttés, puis séchés.

Le nombre de tubes sur la machine à enduire peut être extrêmement variable. La méthode Philips, par exemple, n'enduit que 2 tubes à la fois. Une autre méthode permet d'en enduire 7 simultanément. L'épaisseur du dépôt est très régulière.

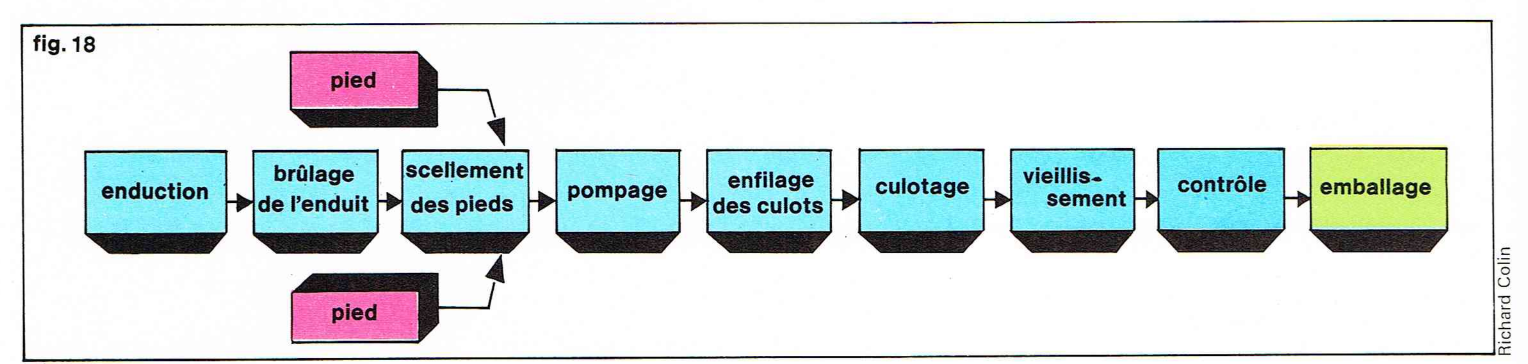
**Brûlage.** Le liquide introduit dans les tubes au cours de l'enduction est un mélange de poudre et de liant. Ce liant doit être totalement éliminé. Pour le faire disparaître, on passe les tubes dans un four à température élevée qui brûle l'enduit. Sous l'effet de la chaleur, le liant se transforme en poudre et gaz qui s'éliminent aisément.

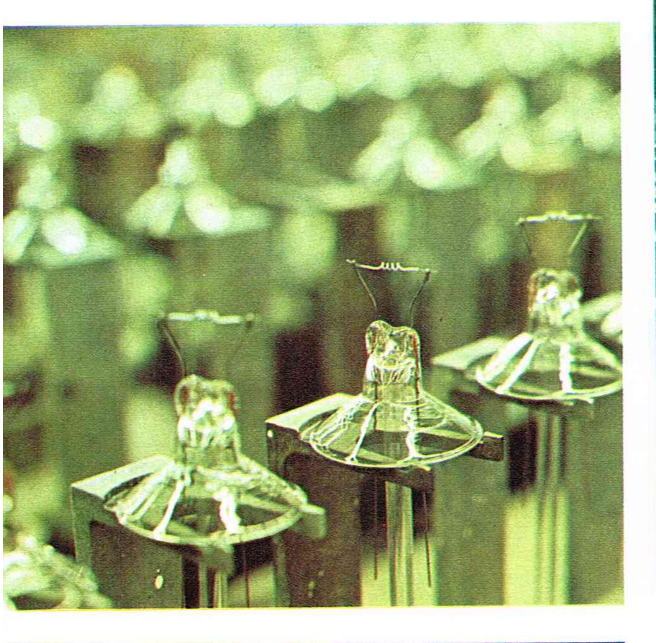
**Fabrication des pieds.** Les opérations sont similaires à celles déjà décrites pour les lampes à incandescence. Ici, il n'y a pas de tige de supportage de filament, car ce dernier est très court et n'est fixé par pincement qu'à ses deux extrémités par les entrées de courant. Les filaments sont bispiralés ou trispiralés et rectilignes. Après fixation sur les pieds, ils sont recouverts, par trempage, d'un amalgame de triple carbonate qui augmente considérablement l'émission des électrons au cours de la décharge.

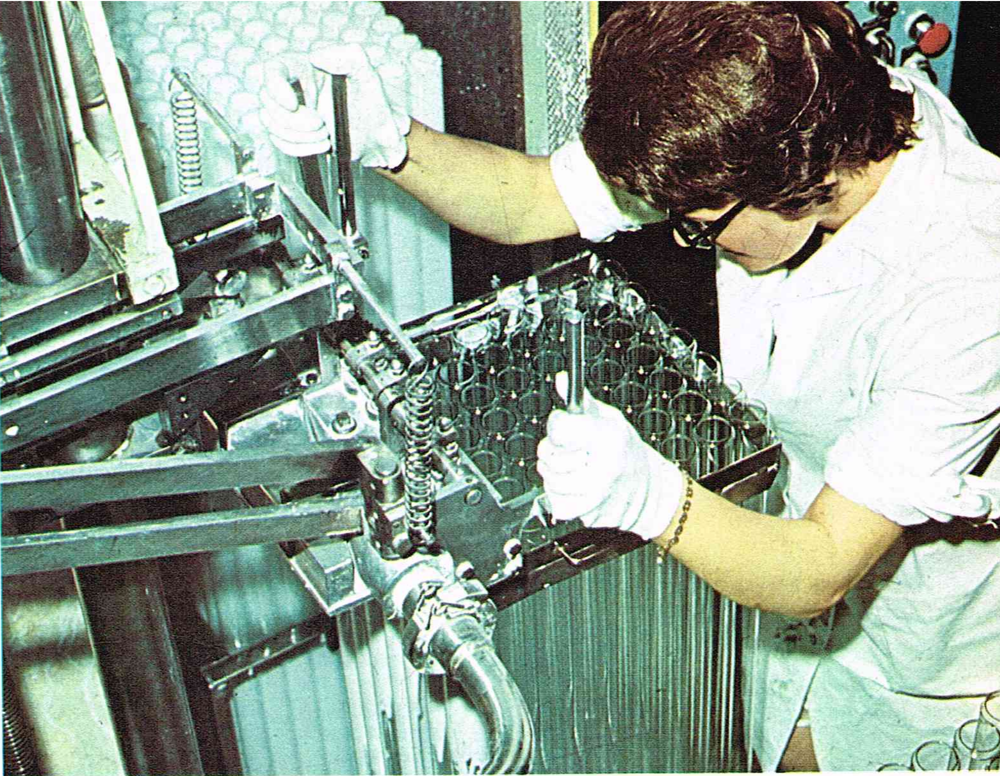
**Scellement des pieds.** Vient ensuite l'opération de scellement des pieds à chaque extrémité des tubes. Le tube et le pied sont mis en contact. Des brûleurs chauffent fortement l'extrémité du tube qui se ramollit et se soude à la partie conique du pied.

**Pompage.** On fait un vide très poussé à l'intérieur de la lampe par l'intermédiaire des pieds. On ne met pas de getter dans les lampes fluorescentes. A la rigueur, un peu de phosphore sur les électrodes. On chauffe les filaments en les reliant à une source électrique pour transformer les triples carbonates en oxyde métallique. Le remplissage est précédé de plusieurs vides successifs entre lesquels on fait passer un courant de gaz inerte (azote) pour « laver » le tube. On y joint une faible

▼ *Figure 18 : synoptique de la fabrication des tubes fluorescents.*





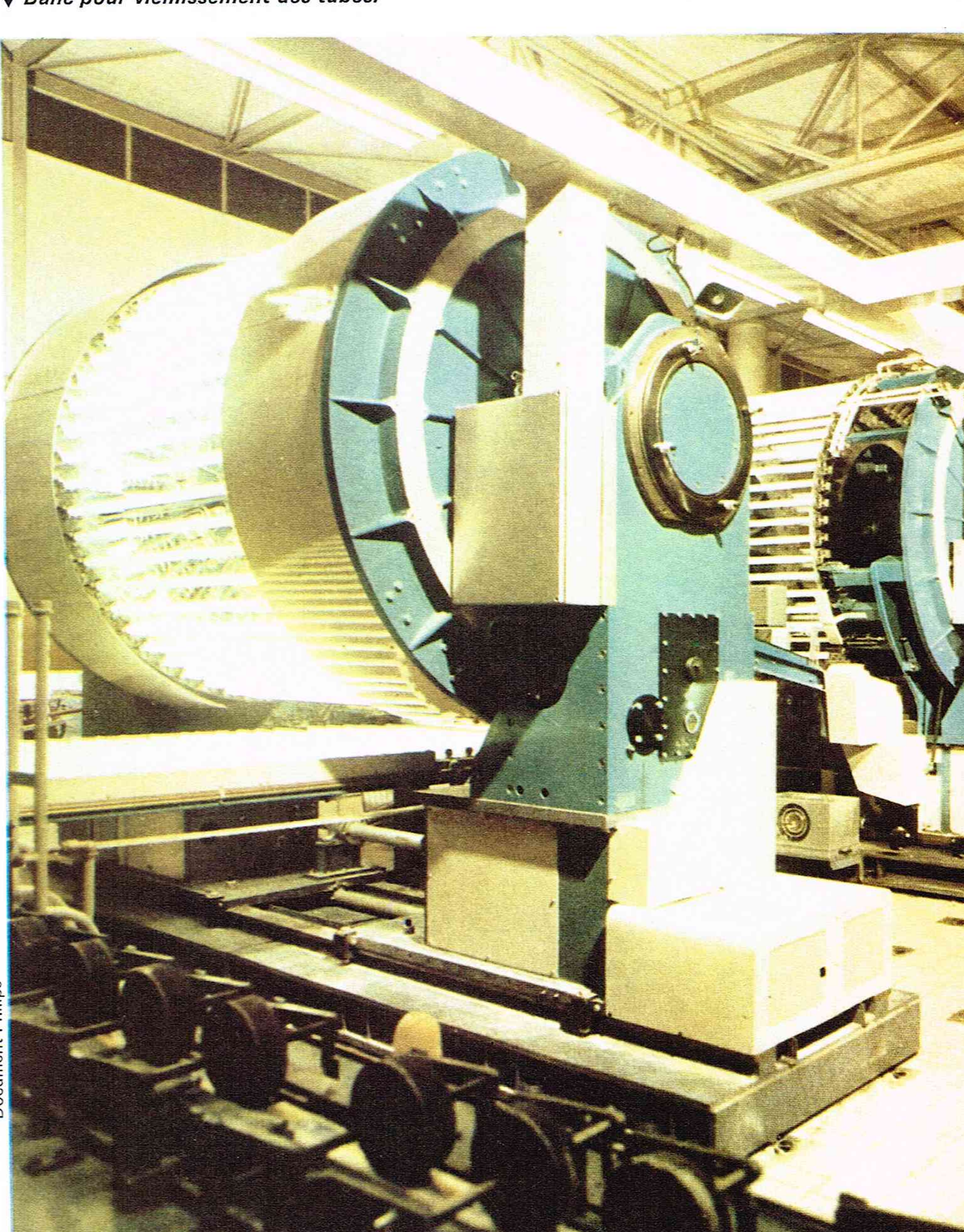


▲ *A gauche, fabrication des pieds de lampes fluorescentes.*
*A droite, enduction des tubes à l'aide d'une machine à injecter verticale.*

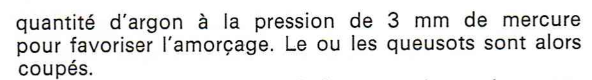


◀ *Chauffage d'une extrémité de tube avant scellement du pied.*

▼ *Banc pour vieillissement des tubes.*



Document Philips



quantité d'argon à la pression de 3 mm de mercure pour favoriser l'amorçage. Le ou les queusots sont alors coupés.

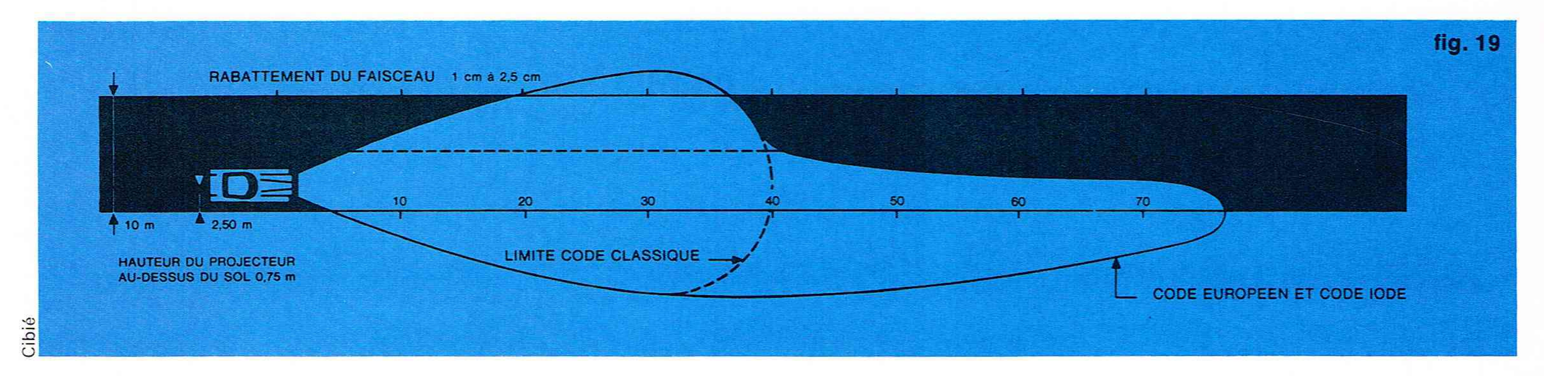
**Enfilage des culots - Culottage.** Les culots sont présentés simultanément des deux côtés des tubes placés horizontalement. Les entrées de courant doivent être parfaitement rectilignes. Les culots sont enduits intérieurement d'une pâte qui les scellera au tube après polymérisation. Ils sont présentés dans l'axe du tube et translatés horizontalement. Les fils pénètrent dans les broches creuses. La portion de fil qui dépasse est coupée. Le fil est alors soudé en extrémité de broche par l'établissement d'un arc électrique entre une électrode et cette broche. La lampe fluorescente est alors terminée.

**Vieillissement.** Les tubes sont montés et branchés automatiquement sur un banc pour vérifier le bon fonctionnement. Ils restent ainsi allumés 30 à 60 secondes.

**Contrôle et emballage.** Ils subissent une série de derniers contrôles avant d'être emballés. Pour ce faire, une machine automatique les prend et les enfile 5 par 5 dans des étuis avant d'être placés dans les cartons d'expédition.

## *Lampes à décharge*

Les procédés de fabrication sont fort comparables à ceux que nous venons de décrire. Il faut quand même noter la mise en œuvre de tubes en alumine frittée appelés « brûleurs » dans les lampes à vapeur de sodium haute pression et celle de brûleurs en quartz dans les lampes à vapeur de mercure haute pression. Le pincement du brûleur se fait à une telle température que, pour le regarder confortablement, il est préférable d'utiliser un verre fumé.




▲ *Figure 19 : faisceau de croisement correspondant au Code européen.*

## L'éclairage des automobiles

Les appareils d'éclairage automobile ont pour fonction de leur assurer un éclairage indépendant, lié au véhicule et qui lui permet de se déplacer aux mêmes vitesses de nuit et de jour.

### Historique

Le premier projecteur de lumière électrique date vraisemblablement de 1859 : M. Sauter installe au sommet de l'Arc de triomphe une lentille au foyer de laquelle était placée une source lumineuse. La première lampe à incandescence vit le jour en 1878 à la suite de l'invention de Thomas Edison. Sept ans plus tard, en 1885, un réflecteur en verre, de forme parabolique, était construit : le projecteur utilisé universellement venait d'être créé.

Sur les premières automobiles, les fonctions d'éclairage et de signalisation n'étaient pas dissociées. Le nombre de véhicules était très réduit, et la seule lanterne permettait de signaler la présence et d'éclairer faiblement, mais suffisamment, la route pour les vitesses réduites du moment. Cette lanterne était alimentée par du gaz acétylène. Dans les années qui suivirent, les autorités durent séparer les fonctions, à cause de l'augmentation du nombre de voitures, de la circulation nocturne et des vitesses. En 1899 paraît la première réglementation : un feu blanc et un feu vert à l'avant, et le remplacement des lampes à acétylène et à pétrole par des lampes électriques. Les projecteurs étaient fabriqués à l'unité, et ce n'est que vingt ans plus tard, vers 1919, qu'apparaissait leur fabrication en série.

En 1923, on commença à se préoccuper de l'éblouissement, car la fréquence des croisements augmentait, et, les vitesses étant faibles, le temps de croisement était long. Le Code de la route définit le premier faisceau de croisement en 1929. A cette même date, un arrêté oblige la pose de deux dispositifs d'éclairage : code et phare. Le faisceau lumineux était limité par un plan horizontal : l'intensité était faible dans la zone supérieure, suffisante pour voir la route sur une certaine distance dans la zone inférieure. Cette disposition, la seule utilisée en France jusqu'en 1957, est toujours valable, mais elle n'est appliquée qu'à certains véhicules comme les tracteurs, les machines agricoles. La lumière jaune est adoptée par un décret le 10 janvier 1939.

▶ *Vieille lanterne d'automobile fonctionnant à l'acétylène. L'évolution de la circulation nocturne a amené à diversifier les deux fonctions de la lanterne initiale et à définir deux sortes d'appareils : appareils d'éclairage et appareils de signalisation.*

Cibié

### Code européen

Dès 1950, les experts désiraient augmenter la distance de visibilité sans augmenter l'éblouissement, et après de longues recherches apparaît, en 1957, le faisceau de croisement asymétrique ou Code européen. Ce code répond aux conditions suivantes : par rapport à l'axe vertical du véhicule, la partie gauche comporte une coupure horizontale au-dessous de laquelle l'automobiliste doit voir la route sur une distance de 25 à 50 mètres, au-dessus rien. Dans la partie droite, la coupure est relevée de 15° de manière à éclairer le bas-côté de la route sur une distance de 50 à 75 mètres (*fig.* 19).

Les lampes utilisées ont une puissance de 40/45 watts. Le culot comporte un plan de référence qui donne aux filaments une position très précise dans l'appareil optique. Il y a deux filaments en tungstène : un de croisement et un de route. Les ampoules sont remplies de gaz, argon ou azote. Elles sont positionnées à l'aide de trois bossages et d'un ergot. Trois connexions alimentent les filaments : masse, faisceau croisement, faisceau route. Les lampes sont mises en place par l'arrière, ce qui permet d'avoir une étanchéité, assurée à la fabrication, entre glace et réflecteur.

### Utilisation de la lampe halogène

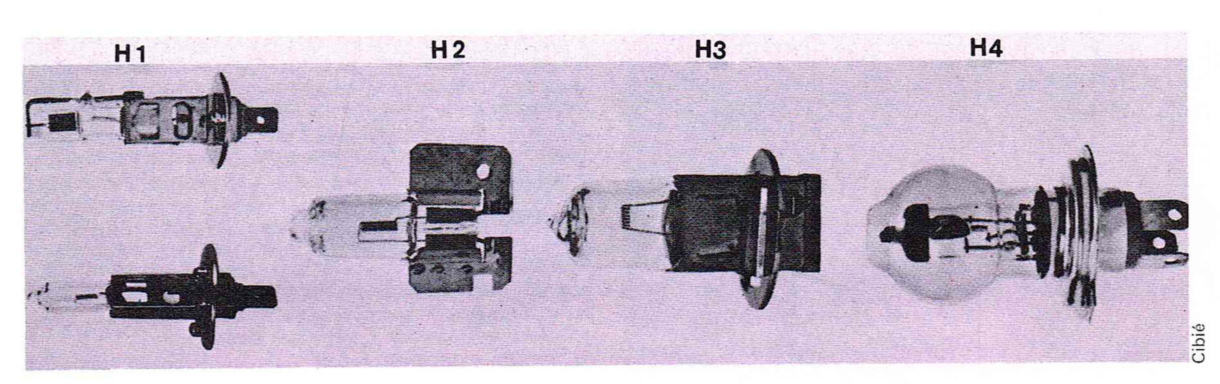
En 1962, aux 24 heures du Mans, 18 voitures étaient équipées de projecteurs à lampes aux halogènes. Les résultats furent concluants, car aucune lampe ne claqua. Avec les lampes, les dimensions et les formes des projecteurs évoluèrent. Les fabricants ont modifié les caractéristiques géométriques en fonction de l'amélioration des techniques d'emboutissage qui permettait d'obtenir des réflecteurs plus profonds, de forme rectangulaire et trapézoïdale. On trouve actuellement sur le marché quatre types de lampes halogènes.

#### La lampe H1

Elle n'assure qu'une fonction. Il faut placer un cache si l'on veut obtenir un faisceau de croisement. Sa puissance est 55 watts. Elle est utilisée sur les véhicules rapides, dans les projecteurs principaux et dans les projecteurs antibrouillard. L'ampoule est en verre de silice, le gaz neutre est du krypton, l'halogène est de l'iode, du brome, du fluor. Le filament de tungstène est porté à 3 150 °K. Le plan de référence est obtenu par une collerette fixée au culot. Il n'y a qu'une connexion.

#### La lampe H2

Comme la précédente, elle n'assure qu'une fonction. Elle est utilisée dans les projecteurs extra-plats de complément : antibrouillard et route de pointe. On la trouve aussi dans quelques projecteurs principaux; un constructeur l'utilise pour le faisceau de route de la *CX* Citroën.




◀ *Lampes halogènes (H1 à H4).*

**La lampe H3**

Elle assure aussi une seule fonction et n'est utilisée que dans les projecteurs de complément. Sa puissance est 55 watts.

**La lampe H4**

C'est la dernière née. Elle assure les deux fonctions code et route. Sa puissance est 55/60 watts. Elle présente l'avantage, par rapport au Code européen, de doubler l'intensité lumineuse par un accroissement de 10 % de la puissance. Elle est à double enveloppe; la première est une ampoule en verre jaune au cadmium; la seconde, en verre de silice, est remplie de krypton et d'halogène. Les filaments sont en tungstène. Le plan de référence est obtenu par une collerette. Le positionnement est assuré par trois languettes, dont une de largeur différente qui permet l'orientation convenable. Une nouvelle répartition fut envisagée à partir de la lampe H4. Le relèvement de 15° est remplacé par un relèvement de 45° pour reprendre un aspect horizontal décalé en hauteur de 1° par rapport à cette ligne horizontale. Cette disposition « à coupure décalée » limite l'éblouissement direct dans les croisements en virage à grand rayon et l'éblouissement par le rétroviseur.

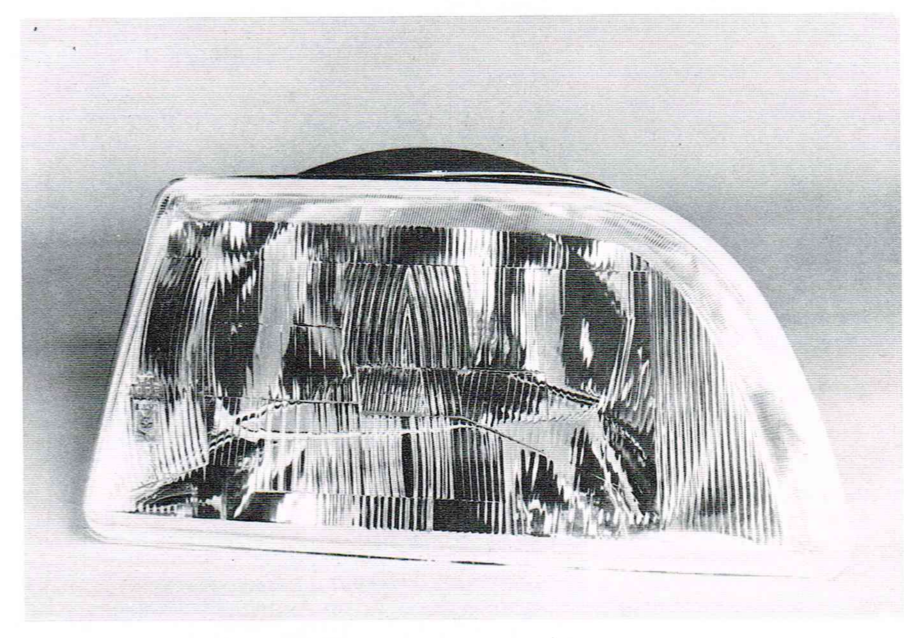
Le Code européen n'est pas pour autant abandonné; en effet, les études optiques montrent que l'iode est intéressant pour les projecteurs de diamètre inférieur à 200 mm et dans tous les cas pour le faisceau route (*fig.* 20).

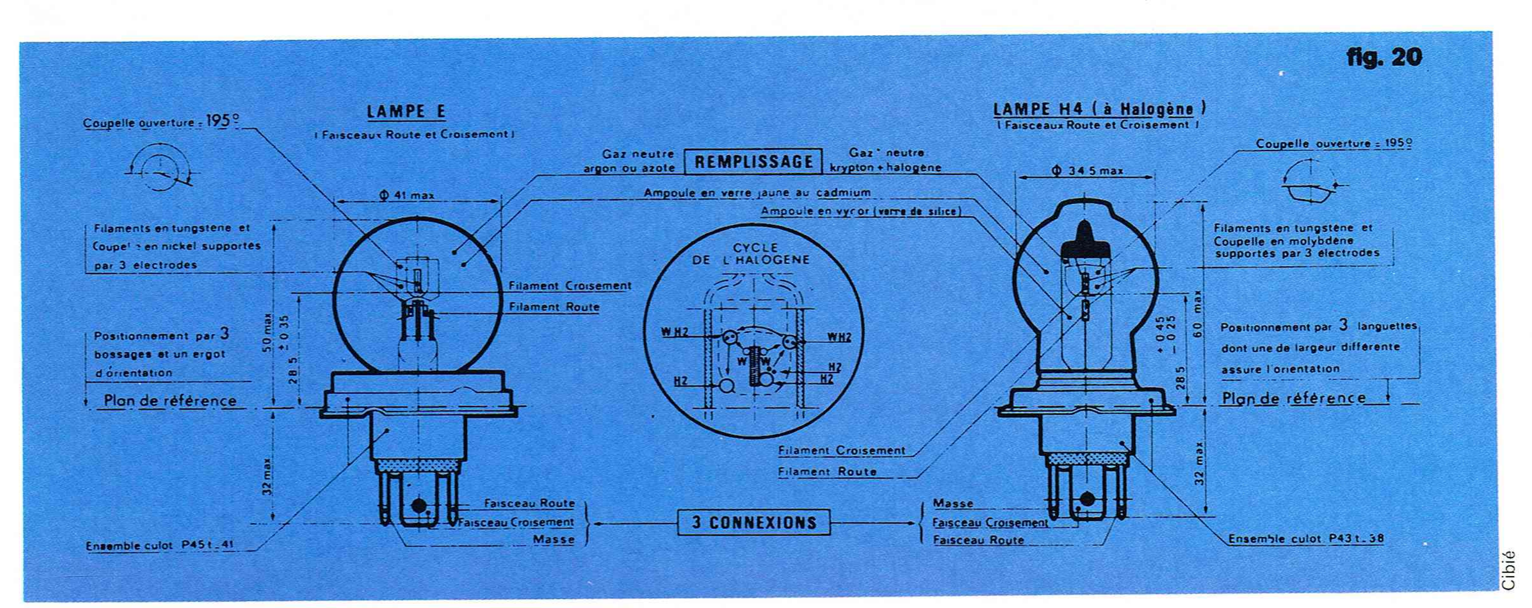
## *Projecteurs*

Le premier projecteur rectangulaire est celui de l'*Ami 6* (1960). Dans ce type de projecteur le faisceau de croisement est européen, le faisceau route utilise une lampe à halogène. Mais ces deux structures ne sont pas forcément liées, la lampe halogène n'étant apparue qu'en 1968. La matière plastique est largement utilisée. On la trouve dans les plots de fixation, les cuvelages d'adaptation dans les carrosseries, les recouvrements des projecteurs de complément, les pièces intermédiaires entre les réflecteurs et les glaces de forme. D'autres constructeurs automobiles choisissent deux phares distincts qui peuvent tous deux utiliser des lampes à iode. On trouve enfin le projecteur unique équipé d'une lampe H4 qui assure les deux fonctions code-route.

Toutes les glaces sont équipées de stries en forme de prisme qui ont pour rôle de diffuser la lumière selon des données déterminées par des essais de laboratoire et pratiques. Les schémas de la *figure* 21 montrent les formes des faisceaux lumineux que l'on obtient avec le même réflecteur équipé de trois glaces différentes.

▼ *En bas, figure 20 : comparaison entre les lampes Code européen et H4. Ci-dessous, projecteur S. E. V. - Marchal H4 pour Citroën* **CX.**





Applicon

La forme de la voiture étant imposée, le fabricant doit assurer l'adaptation entre son réflecteur et la carrosserie. Des systèmes graphiques interactifs restitués par des miniordinateurs sont quelquefois utilisés : il suffit de mettre en mémoire les deux formes pour que la machine donne sur table traçante dans les trois dimensions la pièce d'adaptation.

### *Projecteurs antibrouillard*

Le projecteur antibrouillard est conçu pour que le faisceau pénètre profondément dans la nappe; il doit être efficace. Il doit éclairer le bas-côté de la route surtout au carrefour, la largeur du faisceau doit être bien étudiée. L'éclairement doit être uniforme pour éviter la fatigue et la tension nerveuse. Il doit avoir un faible volume, car son installation est généralement faite après la mise en service du véhicule.

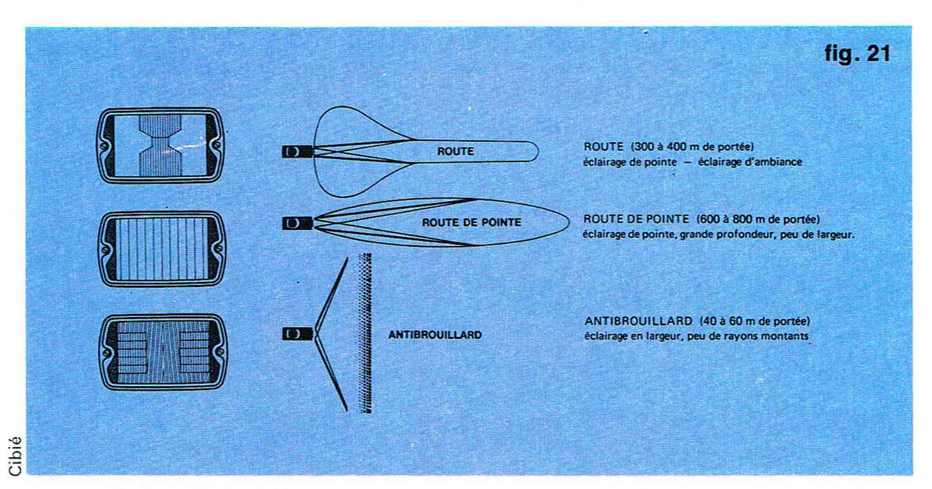
C'est à partir de ces considérations que les fabricants ont étudié les projecteurs offerts actuellement aux automobilistes. Le gradient de coupure vertical est franc, la coupure horizontale est nette. Tous les antibrouillards sont maintenant équipés de lampes à iode. Leur forme est circulaire ou rectangulaire.

### *Équipements complémentaires*

#### Correcteurs d'orientation

Ils permettent de contrôler la position du faisceau par rapport à la route en fonction de la charge ou du comportement dynamique du véhicule. Il existe des correcteurs manuels qui se composent d'un levier pourvu d'une came permettant la rotation verticale du bloc optique. Le correcteur peut avoir un renvoi de commande au tableau de bord qui agit sur un piston; la variation de pression se transmet à un récepteur fixé au bloc optique. Le correcteur dynamique mécanique automatique modifie l'inclinaison des projecteurs en fonction de la charge du véhicule et des accélérations et décélérations.

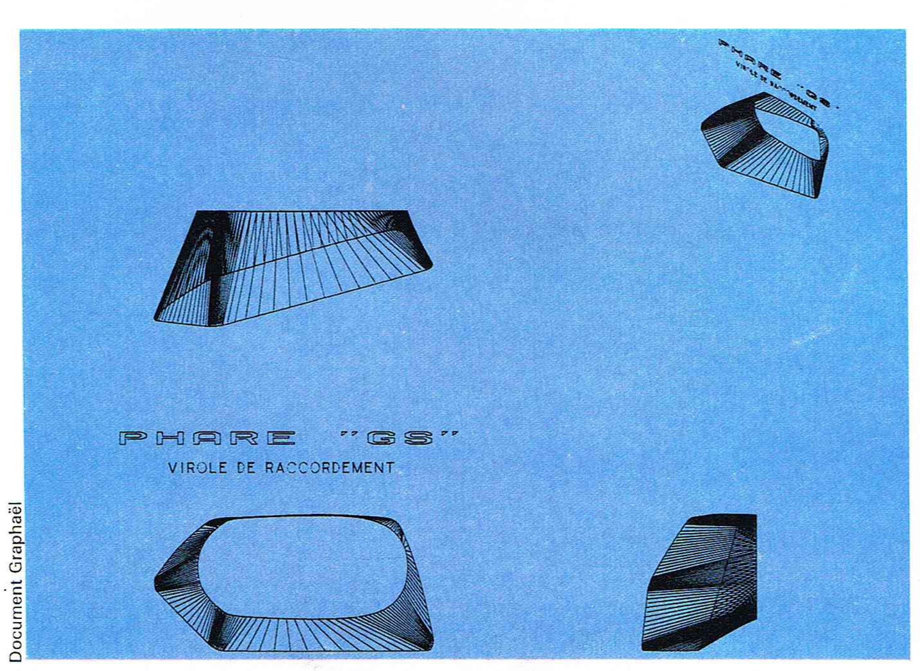
Le correcteur d'assiette, équipant les véhicules Citroën *GS*, *CX* et *DS*, maintient constante la hauteur de la caisse du véhicule quelle que soit la charge, mais ne corrige pas les variations d'inclinaison momentanées de cette caisse lors des accélérations et des freinages. Par contre, le correcteur automatique hydraulique d'orientation des projecteurs joue instantanément sur l'inclinaison des projecteurs par rapport à la route.



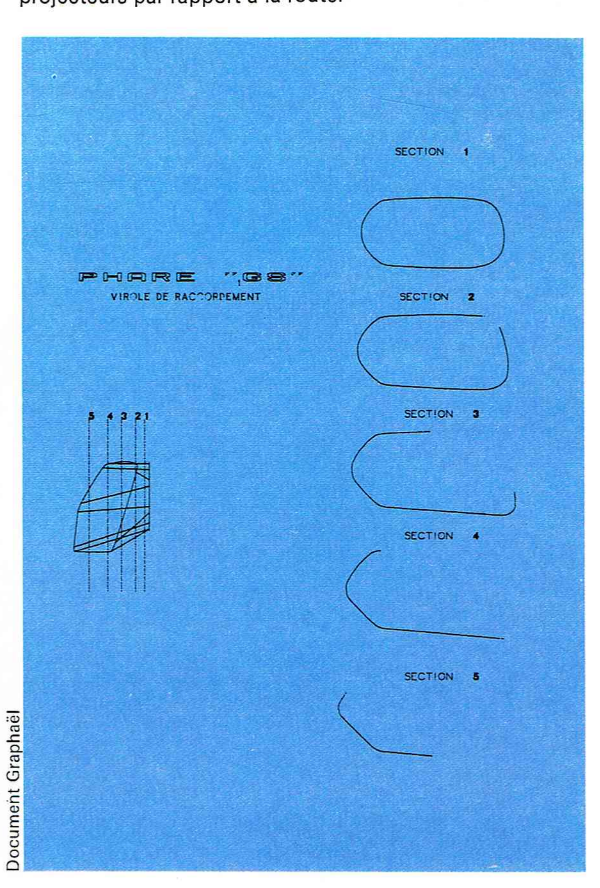

Cibié

▲ ***Système graphique interactif assisté par ordinateur utilisé pour le dessin en 3 dimensions des pièces de liaison entre réflecteur et carrosserie.***
***Figure 21 : forme des faisceaux lumineux que l'on obtient avec le même réflecteur équipé de trois glaces différentes.***

▼ ***Virole de raccordement : l'ordinateur est de plus en plus utilisé pour ces applications. Il restitue les pièces en perspective sur un écran cathodique ou une table traçante. La figure ci-contre montre une restitution sur papier d'une pièce de liaison entre réflecteur et carrosserie.***




Document Graphaël




Document Graphaël

**Essuie-phares**

Ce sont des organes de sécurité qui permettent de garder les glaces de projecteurs très propres. Des expériences ont montré qu'en quelques minutes une glace peut absorber 80 % de la lumière par projections dues aux autres véhicules. Chaque projecteur a son mécanisme indépendant qui comprend un moteur électrique, une réduction de vitesse, une tringlerie, un balai essuie-glace, un système d'amenée d'eau de lavage avec pompe, conduits et gicleurs. Le balai peut être une brosse ou une lame de caoutchouc.

## *Fabrication*

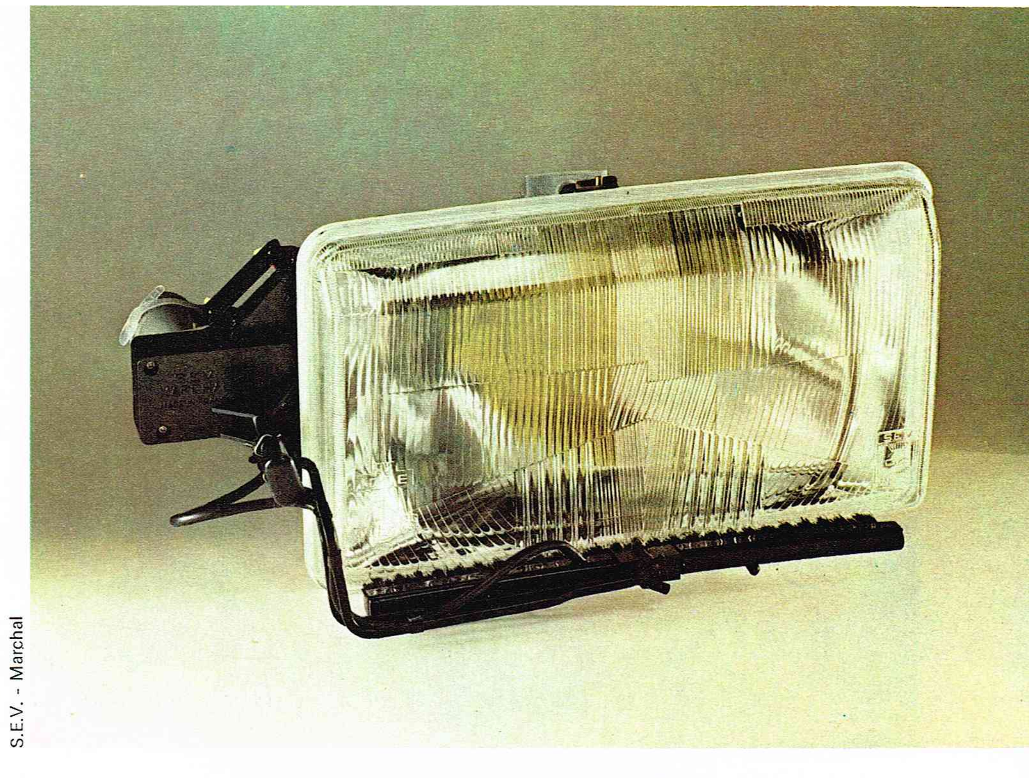
La fabrication des lampes est similaire à celle que nous avons décrite précédemment.

### *Fabrication des miroirs*

Les miroirs, pièces de haute précision, nécessitent de très grandes précautions, tant dans le choix des tôles et dans le réglage des machines que dans leur manipulation. En effet, l'écart maximal admissible entre la pièce et sa forme théorique ne doit pas dépasser quelques centièmes de millimètre. Quant aux défauts locaux, ils doivent être inférieurs à quelques microns. Cela explique que chaque opération sur les miroirs soit suivie d'un contrôle unitaire rigoureux. Toute pièce douteuse est irrémédiablement refoulée, puis détruite, aucune opération de reprise ou de réparation n'étant possible avec une telle précision.

Sur les ébauches des miroirs sortant des presses, il reste à effectuer les différentes opérations d'usinage dont dépend la position de la lampe dans la parabole. Ce sont le rognage de la collerette qui fixe la position des filaments de la lampe par rapport au foyer de la parabole, et le crantage qui donne à la coupelle « code » son orientation par rapport à la glace. Ces différents travaux sont effectués sur des manèges automatiques de grande précision. Une erreur de quelques centièmes de millimètre sur la position des filaments peut, en effet, se traduire par une diminution importante des valeurs d'éclairement.

Dernier stade d'usinage : le polissage. Il lui est demandé d'éliminer le « grain » de la tôle et de faire disparaître les traces éventuellement laissées par l'emboutissage.



S.E.V. - Marchal

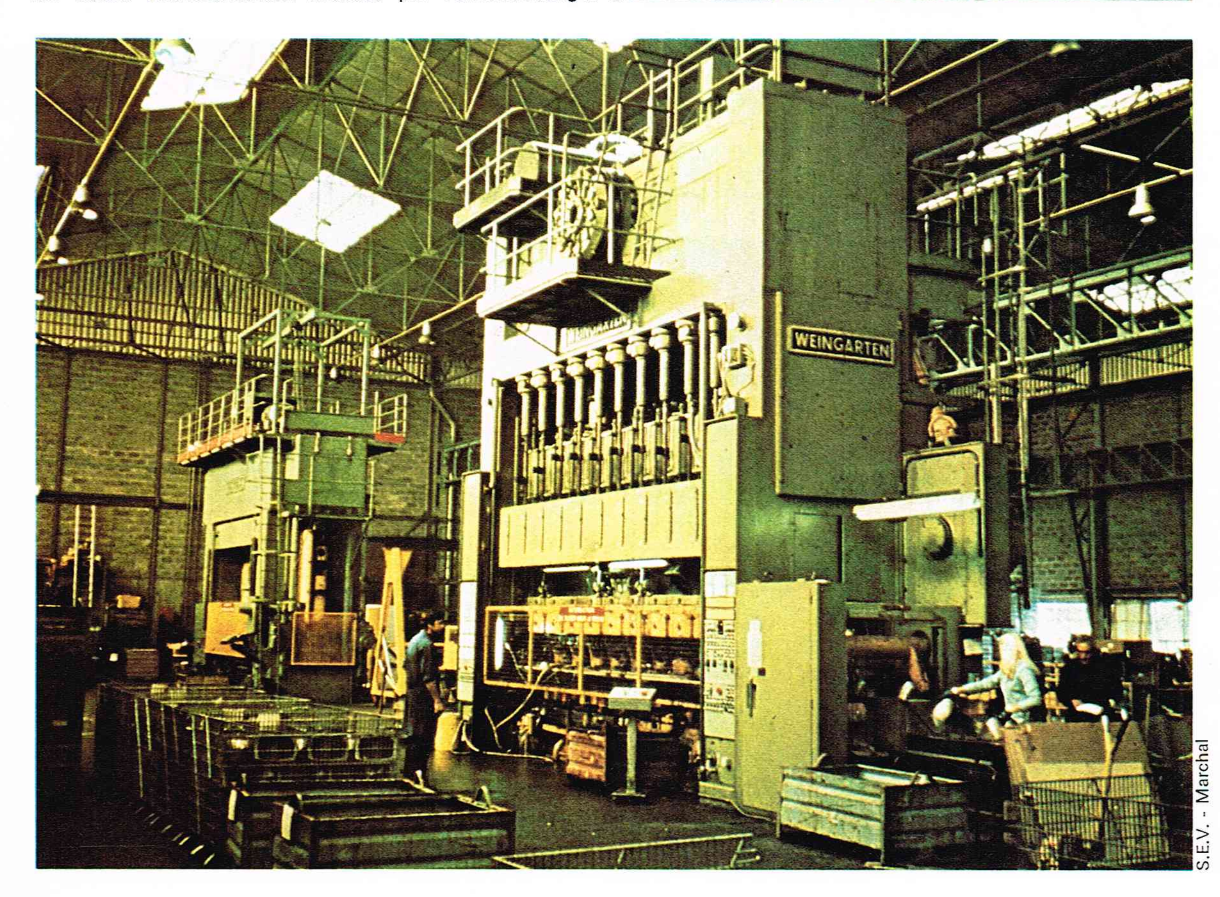
*▲ Projecteur H4 pour Simca Chrysler équipé d'un essuie-phare.*



Cibié



*◀ Batteries de machines semi-automatiques à polir les miroirs rectangulaires.*




S.E.V. - Marchal

*◀ Vue partielle d'une presse-transfert de 400 t pouvant exécuter 11 opérations simultanées en moins d'une minute.*

Cibié

▲ *Atelier de vaporisation sous vide.*

Cette opération commence à faire de la pièce en tôle un miroir. Aujourd'hui, le polissage est entièrement effectué sur des machines semi-automatiques. L'ensemble du polissage totalise plus de 100 postes, répartis sur diverses machines de 4 à 7 têtes, à mouvement alternatif ou continu suivant qu'il s'agit de polir des miroirs rectangulaires ou des miroirs ronds.

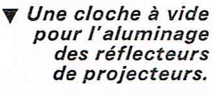
Après un dégraissage aux solvants chlorés, les pièces de fixation, les supports d'écrous, les pattes d'accrochage, etc., sont fixés aux miroirs. Ces assemblages sont faits sur des soudeuses par points qui effectuent, parfois, la fixation simultanée de quatre éléments.

Le miroir qui a maintenant son aspect définitif est dirigé vers le tunnel de phosphatation. Cette protection, outre son influence propre sur la résistance à la corrosion, apporte au vernis une meilleure surface d'accrochage. Dans ce tunnel est effectué, tout d'abord, un dégraissage très poussé grâce à des jets de lessive sodique à haute pression. Ces jets ont pour but de décoller les graisses et de débarrasser la surface interne de la parabole de toute trace suspecte : grains d'abrasifs, copeaux, etc.

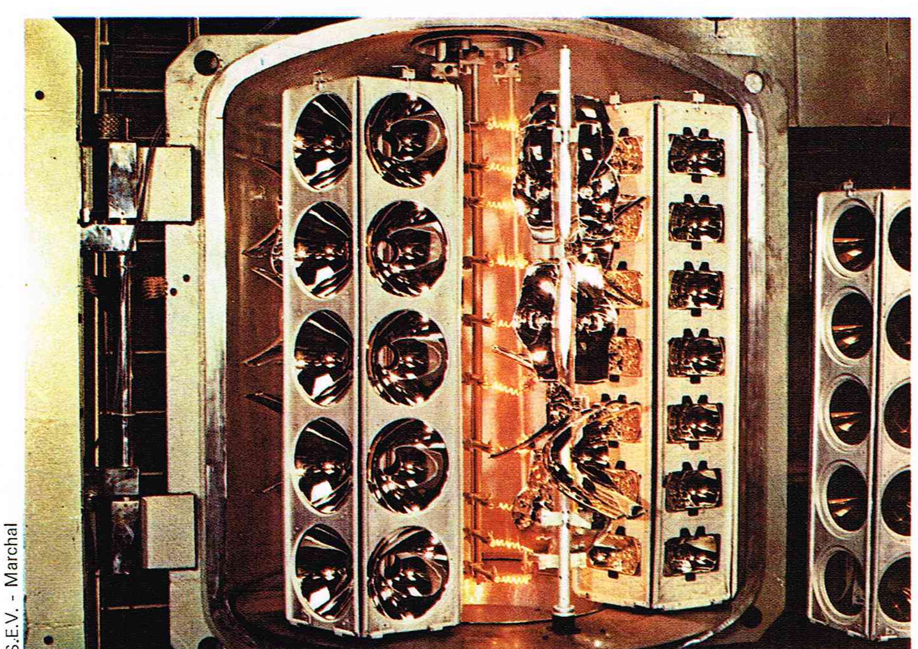
Ensuite, après de nombreux rinçages, une attaque chimique transforme en phosphate amorphe la surface de la tôle. Cette attaque est stoppée à l'étape suivante par l'action d'une solution passivante. Bref, après d'ultimes rinçages, les pièces sont séchées à l'air chaud. Le miroir, qui a été décroché du convoyeur de phosphatation, est alors envoyé à l'atelier de peinture où deux couches différentes de vernis, dont l'épaisseur totale est de 25 microns, lui sont appliquées. Les installations de vernis sont entièrement automatiques. Les régulations de viscosité, de température et l'alimentation des cuves de trempe se font sans intervention manuelle. Cet automatisme donne la plus grande constance possible à la qualité. Le vernis, indépendamment de son rôle de protection contre la corrosion, donne à la surface interne des paraboles son aspect spéculaire.

Après son passage dans les fours de polymérisation, le miroir, encore chaud, reçoit dans l'atelier d'aluminage la couche réfléchissante. Celle-ci est constituée d'une pellicule d'aluminium absolument pur dont l'épaisseur est de quelques centaines d'angströms. Cette couche est obtenue par l'évaporation sous vide de petits barreaux d'aluminium placés dans des spirales de tungstène portées à haute température par passage de courant électrique.

Les machines d'évaporation créent un vide de $1 \times 10^{-4}$ torr (1 torr = 1 mm Hg) en trois minutes. Elles permettent l'aluminage simultané de 6 à 30 miroirs. Depuis quelques années, on utilise un procédé industriel de vaporisation du SiO (monoxyde de silicium) qui, après l'aluminage, assure une très bonne protection à la surface réfléchissante sans pour cela en altérer les qualités optiques.



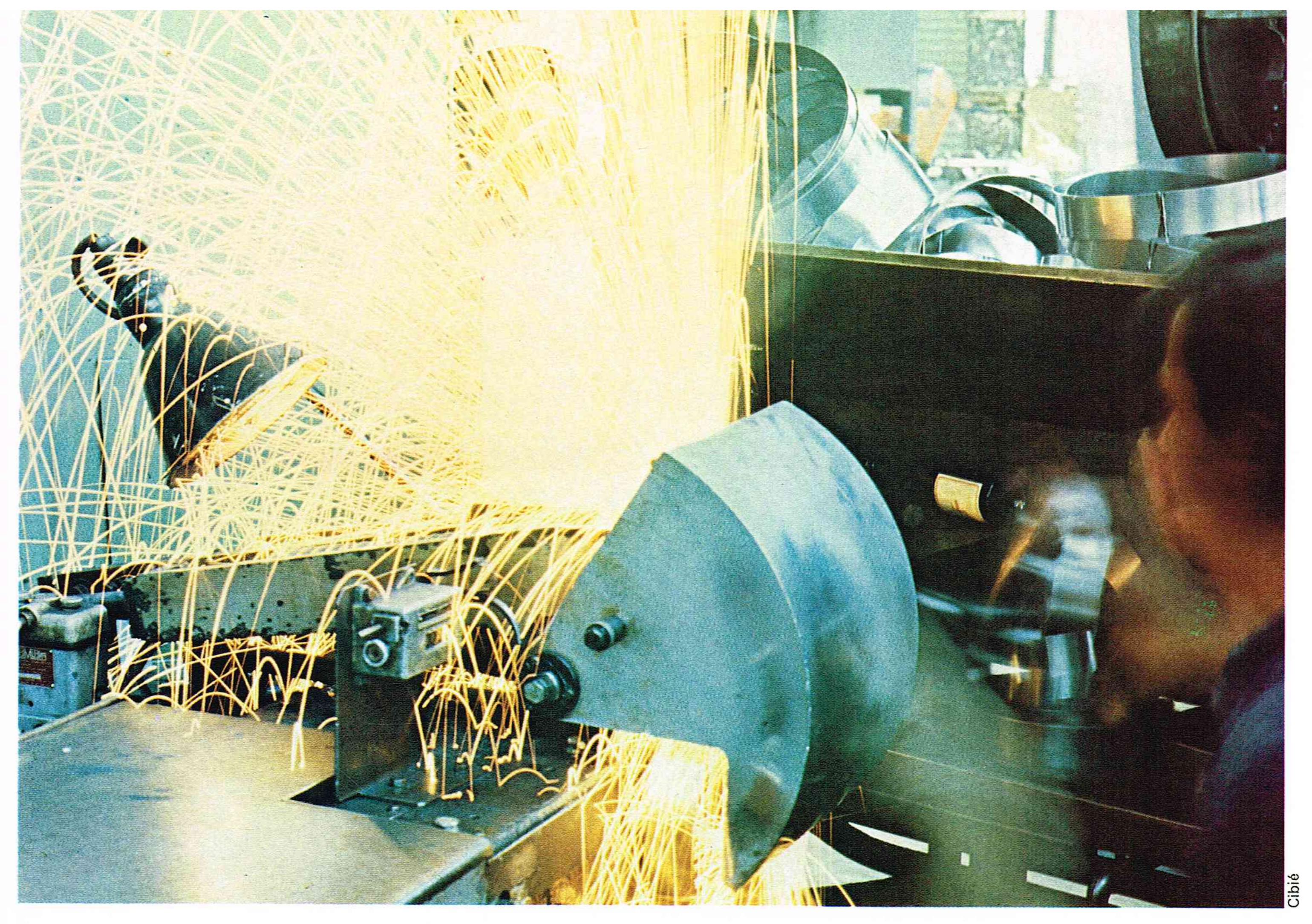
▼ *Une cloche à vide pour l'aluminage des réflecteurs de projecteurs.*



S.E.V. - Marchal

### *Fabrication des enjoliveurs*

Les enjoliveurs issus soit de larges bandes embouties sur presse transfert, soit de bandes étroites soudées en bout par étincelage et formées ensuite sur machines




▲ *Soudure en bout par étincelage des cercles pour enjoliveurs.*

automatiques, reçoivent, parallèlement aux opérations d'usinage effectuées sur les miroirs, les différents ajouts, pattes et pièces de fixation à la carrosserie. Ils suivent alors deux voies distinctes suivant qu'ils sont chromés ou peints.

Dans les procédés de protection ou de décor par dépôt électrolytique, le dégraissage tient une place de la plus haute importance. C'est la raison pour laquelle le chromage commence par trois dégraissages différents : dégraissage chimique, dégraissage électrolytique en phase cathodique, enfin dégraissage électrolytique en phase anodique. Quatre rinçages successifs achèvent le nettoyage des pièces.

Alors commence le chromage. Il débute par un dépôt de cuivre alcalin mat (5 microns) servant d'accrochage au suivant, de cuivre acide (20 microns) très brillant. Vient ensuite une couche de nickel (20 microns) également brillant. Pour finir, on dépose une pellicule de chrome (1 micron) qui donne à l'enjoliveur cet aspect bleu bien connu. Fait à la fois remarquable et curieux, la qualité d'une couche de chrome n'est pas liée uniquement à son épaisseur, mais aussi à sa propre structure.

Il est à souligner que toutes ces opérations sont entièrement automatisées. L'atelier de chromage est conçu comme une seule et immense machine-transfert. Toutes les opérations sont liées à un cycle unique de 40 secondes. Les vitesses de dépôt n'étant pas les mêmes pour les différentes couches et l'épaisseur variant d'un bain à l'autre, la longueur des cuves est fonction de ces deux paramètres. Le passage d'une cuve à la suivante s'effectue par montée, transfert longitudinal et descente des supports de pièces accrochées sous des poutres mues par vérins pneumatiques. De fréquentes analyses des bains, des contrôles de pièces, visuels et destructifs, permettent de garantir les chromes.

### Fabrication des cuvelages

Les cuvelages, souvent achevés sur les presses-transfert, sont accrochés à des convoyeurs — plusieurs kilomètres par usine — qui les amènent au montage après différents traitements de protection, tels que phosphatation, dont nous avons déjà parlé à propos des miroirs, et peintures anticorrosion ou décoratives.

Les progrès réalisés font que l'on peut envisager dans certains cas, pour ces pièces, l'abandon de la tôle au profit de matières premières telles que le plastique armé ou la fibre de verre dont l'emploi supprime les problèmes de protection contre la corrosion.

### Fabrication des petites pièces

Parallèlement à ces trois chaînes principales, démarre de l'atelier des presses une quatrième ligne de fabrication concernant les pièces de faibles dimensions : attaches, contacts, fiches et pièces de support de lampes. Certaines d'entre elles sont *protégées* à l'atelier de zingage et de bichromatage, identique quant à sa conception à l'atelier de chromage. Ces traitements donnent aux petites pièces la couleur jaune irisé qui les caractérise.

L'emploi des lampes à halogène et les températures atteintes par ces dernières en fonctionnement imposent à certaines fabrications un soin tout particulier, spécialement pour le nettoyage et la manipulation. En effet, les moindres traces de graisse s'évaporent lors de l'allumage, se condensent sur la parabole et la ternissent ; il est donc nécessaire que toutes les pièces en soient complètement dépourvues. Les ultrasons apportent à ce problème une solution satisfaisante, et l'emploi en a été généralisé.

### Fabrication des glaces

Étudiées par les ingénieurs à l'aide de puissants moyens scientifiques tels que l'ordinateur, le laser, les tables traçantes, les bancs optiques, etc., les glaces sont de véritables instruments d'optique. A leur réception, elles subissent toutes un contrôle visuel pour s'assurer de leur parfaite transparence et de l'absence de bulles ou autres défauts. D'autre part, des échantillons prélevés au hasard sont découpés, et chaque strie ou prisme est contrôlé géométriquement. Elles rejoignent ensuite, au montage, les autres éléments du projecteur.

### Le montage

Les différentes pièces, maintenant terminées, protégées, dégraissées, aluminées, contrôlées, sont acheminées par convoyeurs dans les halls de montage où elles retrouvent les glaces. Celles-ci seront fixées sur les paraboles à l'aide d'un cordon de colle qui assure également l'étanchéité du bloc optique. Les colles sont de deux types

▶ *Vue générale d'un atelier de montage.*

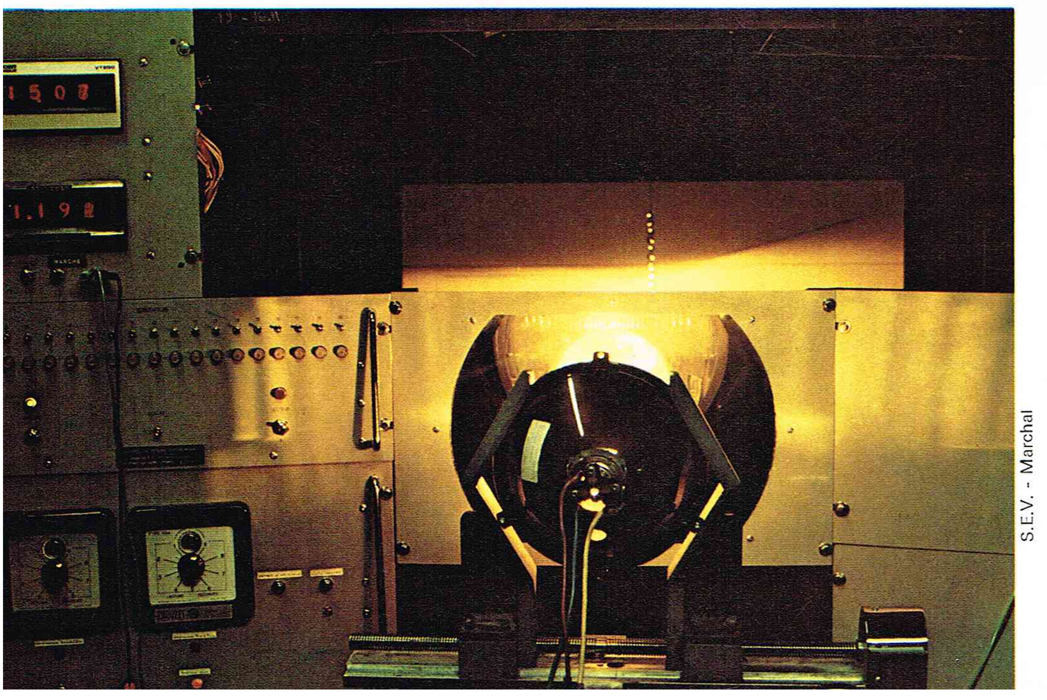
Cibié

différents : dures, c'est le cas des « époxys », elles sont utilisées pour les petits ensembles ; souples, « élastomères », elles servent aux optiques de grandes dimensions et ont pour fonction, outre d'assurer l'étanchéité, de compenser la dilatation différentielle entre les glaces et les parties métalliques.

Le long de nombreux tapis roulants, des dizaines de postes de travail permettent l'assemblage des divers sous-ensembles, cuvelage, bloc optique, enjoliveur, et le regroupement de ceux-ci.

Les dernières vérifications, en particulier le contrôle optique unitaire et le contrôle d'aspect, permettent d'éliminer, au cours de cette ultime phase, les pièces présentant les moindres défauts.

▼ *Vérification et mesure d'intensité du faisceau d'un projecteur.*



S.E.V. - Marchal

## Évolution

Il est difficile de prévoir l'évolution de l'éclairage automobile, d'autant plus que, comme dans toute discipline, les fabricants gardent secrètes leurs recherches. On peut malgré tout citer l'utilisation éventuelle de la lumière polarisée. Sous l'aspect technique, il n'y a pas de difficultés majeures, car on utilise couramment les lampes à iode, les alternateurs à débit important et les filtres polarisants qui sont disponibles industriellement. Les véritables difficultés sont dues à la coexistence des deux types d'éclairages. Le passage de l'un à l'autre demanderait environ cinq ans, pendant lesquels des éblouissements excessifs auraient lieu ainsi qu'une mauvaise reconnaissance des feux de signalisation à travers un analyseur. Une telle décision aurait des conséquences économiques importantes, car les équipements, plus coûteux, entraîneraient une augmentation du prix des voitures neuves ; il faudrait équiper les véhicules anciens de nouveaux feux de signalisation, de nouveaux projecteurs, d'analyseurs, etc. Pour assurer la maintenance, les constructeurs devraient constituer des stocks de ces équipements d'adaptation. Sur le plan humain, les usagers de la route devraient s'adapter. Évidemment, cette décision entraînerait un accroissement de la sécurité qu'il faudrait évaluer avant de dresser un bilan qui permettrait à l'Administration de prendre cette résolution.

En attendant, sur les routes secondaires où la vitesse est limitée à 90 km/h, les faisceaux actuels pourraient être conservés. Sur les autoroutes, l'éblouissement direct pourrait être éliminé par la mise en place d'occulteurs entre les deux voies, ce qui permettrait l'emploi des faisceaux de route. L'éblouissement qui en résulterait par les rétroviseurs serait éliminé en équipant les lunettes arrière et les rétroviseurs extérieurs d'analyseurs.

On pourrait penser à l'utilisation de lampes à éclat dans les feux de signalisation, qui produisent un effet physiologique donnant un éveil de l'attention. C'est une solution séduisante, mais fort coûteuse actuellement.

# PILES ET ACCUMULATEURS

## Historique

C'est à Volta que nous devons la première pile hydro-électrique, constituée par une chaîne de conducteurs renfermant un voltamètre dissymétrique.

Le comte Alessandro Volta était un physicien italien, régent de l'École Royale de Côme, professeur de physique. Il commença ses recherches en 1792 à partir d'une observation assez particulière faite par Galvani : quand on interposait un arc métallique entre deux parties différentes du tronc d'une grenouille dépouillée, les membres excités se mettaient en mouvement. Il établit sa « série des tensions » en 1793 pour les métaux. Ces différentes recherches aboutirent à la découverte de la pile électrique en 1800.

Cette première pile était composée de disques de cuivre et de zinc isolés les uns des autres par des rondelles de drap ou de carton trempées dans de l'eau acidulée. Les derniers disques de cuivre et de zinc étaient reliés à deux bornes extérieures par l'intermédiaire de conducteurs. Le ruissellement de l'eau acidulée établissait des courts-circuits internes qui rendaient la pile peu fiable et diminuaient la tension à ses bornes.

Cruikshank trouva une solution en couchant la pile à colonne dans une auge d'eau acidulée : ce fut la « pile à auge ».

On s'aperçut très vite que la force électromotrice de la pile diminuait très rapidement quand elle débitait sur une charge extérieure. Cela provenait du changement de nature des contacts, et notamment d'un dépôt de bulles d'hydrogène sur l'électrode positive résultant de l'électrolyse. On appela ce phénomène la *polarisation.* Pour l'annuler, il fallut placer des dépolarisants capables d'éliminer ces bulles. Poggendorff, en 1842, introduisit un dépolarisant liquide : le bichromate de potassium. Cette nouvelle pile fut améliorée par la suite par des chercheurs comme Ducretet, Trouvé et Grenet. Les éléments suivants la constituaient : le pôle positif était composé de deux plaques de charbon de cornue, et le pôle négatif d'une plaque de zinc coulissante disposée entre les deux précédentes. L'ensemble baignait dans une solution d'acide de bichromate de potassium. La réaction suivante donnait naissance à un courant : formation de sulfate double de potassium et de chrome, dégagement d'oxygène qui empêche la polarisation en se combinant avec l'hydrogène. La force électromotrice est 2 volts. D'autres dépolarisants ont été utilisés, comme l'acide nitrique dans la pile de Bunsen en 1842.

Le plus utilisé et le plus pratique pour les piles est le dépolarisant solide. C'est Leclanché qui, le premier, s'en est servi en 1868. Cet élément est composé d'une tige de zinc comme pôle négatif, plongeant dans une solution de chlorure d'ammonium; d'une plaque de charbon de cornue comme pôle positif, placée dans un sac de toile ou un vase poreux. Cette plaque est recouverte d'un aggloméré de bioxyde de manganèse. La force électromotrice est 1,5 volt. C'est le type de pile le plus couramment utilisé de nos jours.

Ferry l'a perfectionnée de la façon suivante. Au fond du vase est disposée horizontalement une plaque de zinc constituant l'électrode négative. L'électrode positive est du charbon poreux jouant le rôle de catalyseur. Une solution de chlorure d'ammonium sert d'électrolyte. Quand l'électrolyte est immobilisé par une substance gélatineuse, on appelle les piles : « piles sèches ».

Daniell réalisa le premier, en 1836, une pile impolarisable à deux liquides en plongeant deux lames métalliques différentes chacune dans une solution d'un de ses sels. Une tige de zinc (pôle négatif) plonge dans du sulfate de zinc. Un cylindre de cuivre (pôle positif) plonge dans une solution saturée de sulfate de cuivre; cet ensemble est placé dans un vase poreux. La force électromotrice est 1,08 volt.

D'autres éléments impolarisables, comme les piles de concentration, sont constitués par deux électrodes de même métal qui plongent dans deux solutions de concentrations différentes d'un sel de ce métal.

Le premier élément rechargeable fut réalisé par Gaston Planté en 1859. La construction était difficile, c'est pourquoi cette découverte ne franchit pas le seuil du laboratoire pendant une vingtaine d'années. Le développement de l'industrie de l'accumulateur au plomb commença véritablement vers 1881 par la découverte d'un procédé de tartinage des plaques avec un composé de plomb due à Faure. Jusqu'en 1900, les batteries étaient principalement destinées à des installations fixes, soit pour compléter l'installation de centrales électriques, soit pour assurer la continuité des services en cas d'arrêt des machines. Furent construites ensuite des batteries pour véhicules terrestres, bateaux, etc. Ce n'est qu'en 1919 qu'apparut le démarrage électrique des moteurs à combustion.

En 1894 est équipé le premier fiacre automobile Krieger; en 1895, le double phaéton Jeantaud de la course Paris-Bordeaux. En 1898, la première locomotive électrique destinée au PLM, et en 1899 le premier véhicule au monde à franchir la vitesse de 100 km/h : la *Jamais contente* de Jenatzi. A cette époque, les marines française et étrangères achetaient des batteries françaises pour l'alimentation des moteurs de sous-marins.

**Origine de l'électricité**

Dans un conducteur, le courant électrique a pour origine le déplacement d'électrons qui ne sont liés à aucun atome et qu'on appelle électrons libres. Une pile ou un accumulateur sont générateurs de ce mouvement d'électrons. Au cours du fonctionnement, l'anode se comporte comme un donneur d'électrons, la cathode les reçoit par l'intermédiaire du circuit extérieur. Anode et cathode sont reliées intérieurement par un électrolyte qui est un conducteur purement ionique au sein duquel se déplacent les ions sous l'influence du champ électrique.

## Les piles Leclanché ou piles sèches

### Constitution d'une pile sèche

Les piles du type « Leclanché » sont dues à Georges Leclanché (1838-1882).

La pile sèche est généralement constituée (*fig.* 1) :

- D'un **godet de zinc** servant à la fois de container et d'électrode négative. Pour des raisons technologiques et électriques, on a donné une forme cylindrique au godet; en effet, tous les constituants sont placés à égale distance les uns des autres, ce qui permet un débit régulier du courant grâce à la transformation régulière des produits chimiques.
- D'une **électrode positive** qui est un aggloméré dont le mélange joue le rôle de dépolarisant, constitué d'une pâte comprenant principalement du bioxyde de manganèse, un conducteur en graphite ou en noir d'acétylène, et d'un électrolyte qui est une solution de chlorure d'ammonium et de chlorure de zinc.

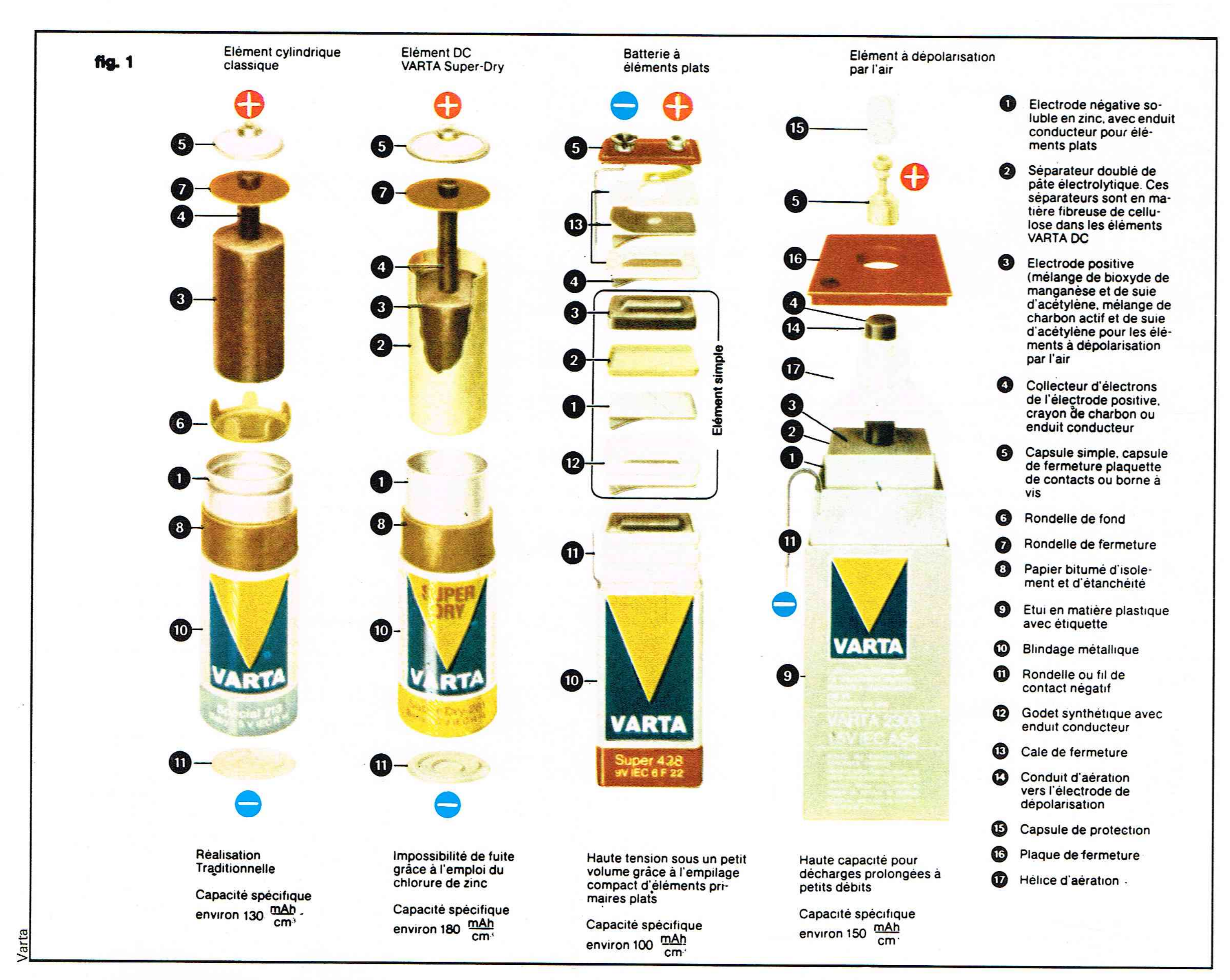
* Il existe trois types principaux de bioxydes de manganèse : les bioxydes naturels, les bioxydes chimiques et les bioxydes électrolytiques :

— Les *bioxydes naturels* ont pour origine l'enrichissement d'un minerai. Le titre obtenu varie entre 70 et 85 % de $MnO_2$.

— Les *bioxydes chimiques* sont préparés par oxydation de sels de manganèse en solution. Le titre obtenu varie entre 80 et 90 % de $MnO_2$.

— Les *bioxydes électrolytiques* sont obtenus à partir de l'électrolyse d'une solution de sulfate de manganèse. Ils sont très purs et titrent plus de 90 % de $MnO_2$.

En plus de leur titre, leurs formes cristallines diffèrent sensiblement; les bioxydes électrolytiques et chimiques sont constitués par une phase $\gamma$ très active et une phase $\beta$ réductible sous de faibles densités de courant. On conçoit donc que, suivant les proportions respectives des différents bioxydes, on prépare des mélanges dépolarisants qui fonctionnent avec un rendement électrochimique satisfaisant sous tous les régimes de décharge. Pour ce faire, on utilise une forte proportion de bioxyde électrolytique et des mélanges qui ont de bons rendements en décharge lente, mais plus faibles en décharge rapide. Ces compositions sont donc déterminées par des considérations d'usage, mais il faut savoir que le choix




▲ ***Figure 1 : structure de divers types de piles sèches au manganèse (Varta).***

détermine le coût, le bioxyde électrolytique étant beaucoup plus cher que le naturel (*fig.* 2).

* Dans l'électrode positive, le conducteur a pour rôle d'assurer la conduction entre les grains de bioxyde qui sont mauvais conducteurs et d'assurer la rétention de l'électrolyte ; c'est pourquoi on utilise le noir de carbone qui remplit parfaitement ces deux fonctions.

* La réaction chimique de la pile est la suivante :

$$2\ MnO_2 + Zn + 2\ NH_4Cl \rightarrow 2\ MnO_2H + Zn\ (NH_3)_2\ Cl_2$$

L'électrolyte permet la propagation des ions dans le mélange dépolarisant décrit ci-dessus. L'électrode négative qui est en zinc passe à l'état de chlorure de zinc diamine, le bioxyde de manganèse se réduit à l'état de $MnO_2H$. Les protons de réduction du manganèse sont fournis par $NH_4Cl$ qui est un produit actif. Il y a consommation d'eau pour la fourniture de protons, les ions $HO^-$ précipitent les ions $Zn^{++}$ en hydroxydes de zinc.

● D'un **compartiment médian** situé entre l'électrode positive et le godet. C'est un électrolyte sous forme de gel qui assure la conduction entre les deux électrodes. Ce peut être aussi un séparateur.

* Le *gel* est un mélange dépolarisant analogue au précédent. Il est immobilisé par une suspension de produits, comme les farines ou l'amidon, puis gélifié par la chaleur ou l'addition de sels. L'épaisseur est 1,5 à 2 mm.

* Le *séparateur* est une feuille de papier sur laquelle on a disposé une mince couche de dépolarisant de 3/10 à 5/10 de mm d'épaisseur. Le gain de place obtenu permet d'augmenter le volume de la partie centrale, d'où une augmentation des performances.

## *Fabrication des éléments de pile sèche*

Les principales phases de la fabrication sont les suivantes :

● **Préparation des composants** : tube en zinc, crayon de charbon, mélange dépolarisant, électrolyte.

* Le *tube en zinc,* qui constitue l'électrode négative et sert de container, est obtenu à partir d'une pastille en zinc pur qu'on place sous le poinçon d'une presse. Le procédé employé, bien connu, est le filage à chaud. Le tube est ensuite ébarbé, et un jonc est formé à sa partie supérieure (il servira au maintien de la rondelle d'obturation) ; on le plonge alors dans un bain de dégraissage pour retirer toute trace néfaste au bon fonctionnement ultérieur.

* Le *crayon,* qui constitue l'électrode positive, est du charbon de cornue, poreux et perméable aux ions. Il est le plus souvent fabriqué par des spécialistes, sous-traitants des fabricants de piles.

* Le *mélange dépolarisant* ou *masse.* Les matières premières sont stockées dans des silos avant d'être pesées automatiquement pour être mélangées et malaxées. Ce sont le bioxyde de manganèse, des sels d'ammoniac ou de chlorure de zinc et du noir d'acétylène qui doit être très conducteur d'électricité et qui doit pouvoir absorber une forte quantité d'humidité maintenue rigoureusement constante (à 1 % près). Le noir d'acétylène est fait dans des canons à acétylène qui sont des tubes robustes dans lesquels on introduit de l'acétylène que l'on fait exploser. Le résidu de la combustion est le noir utilisé dans les piles.

Après malaxage, le mélange dépolarisant est inutilisable ; il faut, pour qu'il acquière ses caractéristiques, le laisser reposer pendant 24 heures.

* L'*électrolyte* est un mélange de chlorure de zinc ou de sel d'ammoniac, d'un produit gélifiant à base de farine de blé de bonne qualité ou d'amidon de maïs, quelquefois les deux réunis. L'ensemble est malaxé et reste en suspension.

● Les composants étant prêts, la **fabrication de l'élément** peut commencer :

— Le crayon et la masse sont présentés sous une presse horizontale qui agglomère, sous forme cylindrique, le mélange dépolarisant autour du crayon.

— L'aggloméré obtenu est enveloppé automatiquement dans du papier préalablement enduit d'électrolyte sur la face qui sera en contact avec le zinc.

— Sur la chaîne de montage, on introduit l'ensemble précédent dans le tube en zinc, puis on presse le tout.

— La cale ou rondelle d'obturation est mise en place. Elle s'appuie sur le jonc du tube. On laisse un petit volume d'air entre la masse et la rondelle pour permettre aux gaz de s'échapper de l'aggloméré.

— On coule sur la rondelle une cire d'obturation qui est flambée pour assurer une bonne adhésion au tube et autour du charbon.

— Un joint plastique est placé entre le zinc et un capot métallique supérieur pour rendre étanche l'élément et assure l'isolement électrique.

— L'ensemble est introduit dans une gaine de carton bitumé. Son rôle est d'absorber le maximum de liquide en cas de percement du tube en zinc.

— L'élément est enveloppé d'un manteau métallique, d'une rondelle de fond et d'une rondelle supérieure. Ces constituants sont sertis.

— *L'élément de pile est terminé*. La pastille inférieure est estampée d'un code : les premier et second chiffres indiquent les numéros du mois de fabrication, le troisième chiffre l'année. Par exemple, 047 correspond à avril 1977.

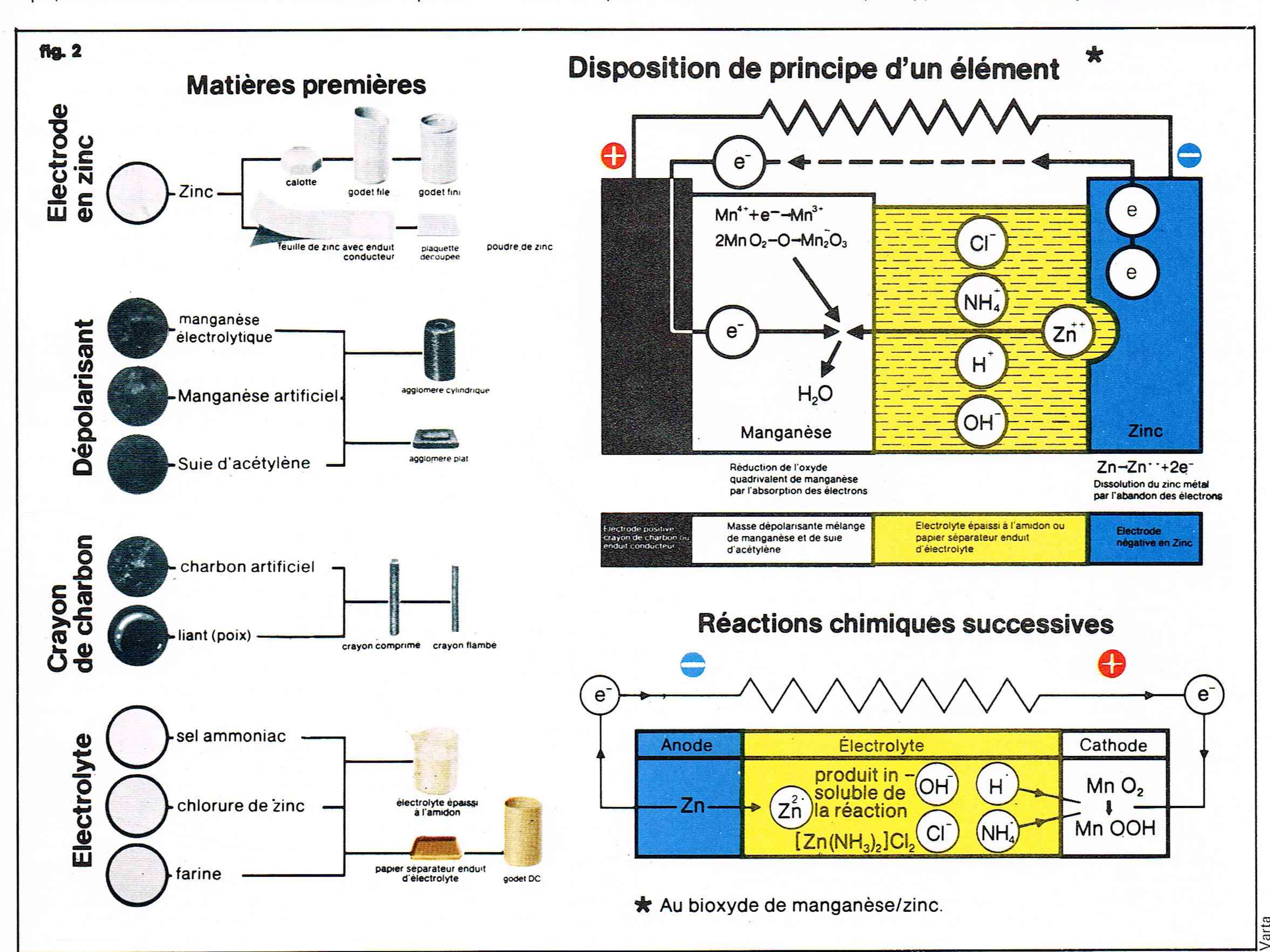
● On **stocke** les éléments une à deux semaines dans une pièce climatisée pour laisser l'osmose se faire.

● Au cours de la chaîne on fait des **contrôles** d'humidité de tous les composants et des contrôles très précis du poids du bioxyde de manganèse. En fin de chaîne, deux contrôles automatiques sont effectués : la mesure de la force électromotrice à vide et un essai en court-circuit franc sur un ampèremètre. Les éléments éjectés sont à nouveau contrôlés manuellement, car il arrive souvent que les résultats négatifs ne soient dus qu'à des mauvais contacts. On pose la bande de garantie, on colle l'étiquette.

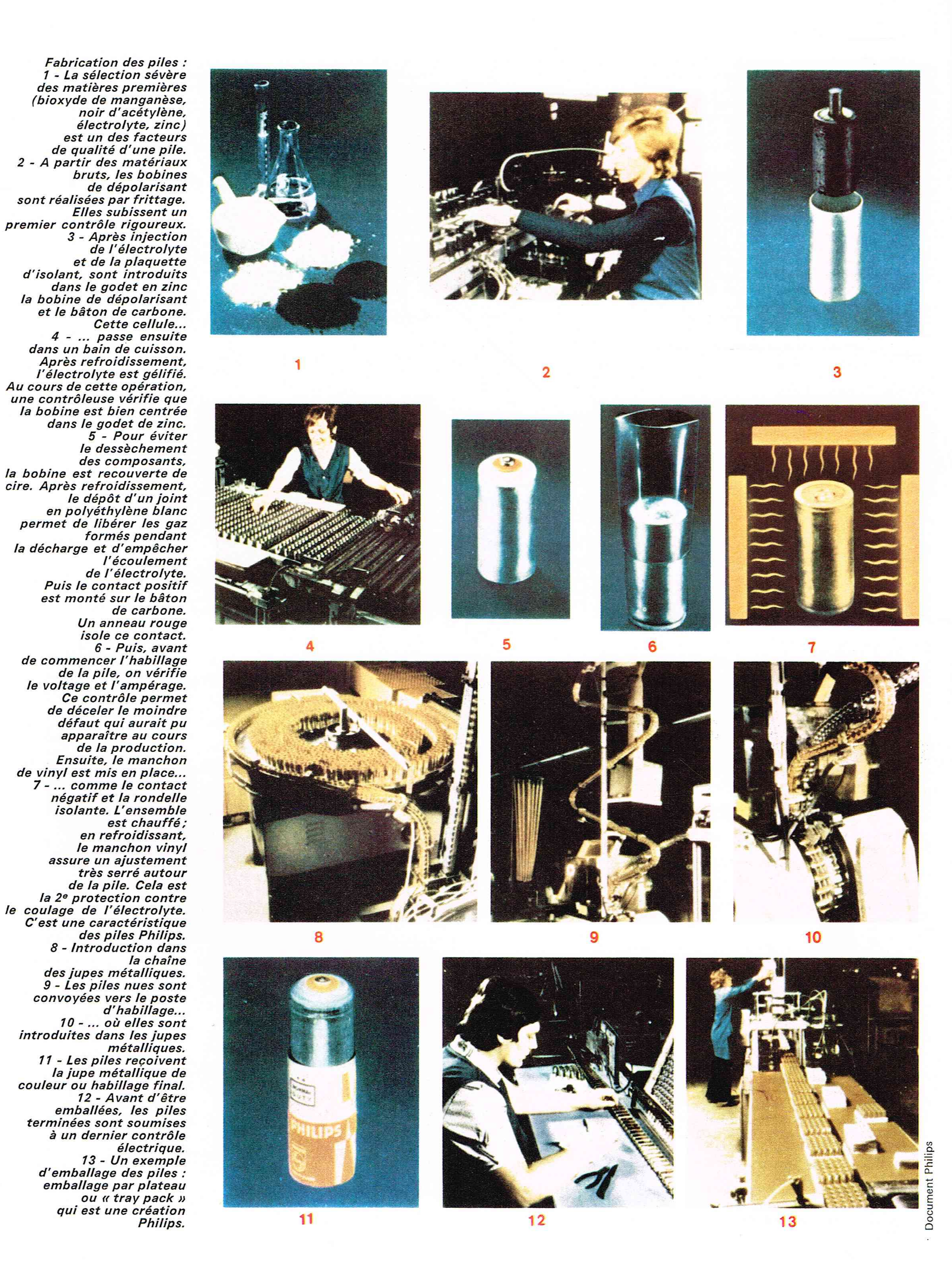
Les machines automatiques peuvent fabriquer, sans intervention manuelle, jusqu'à 300 éléments à la minute. Suivant leurs dimensions, ces éléments sont vendus sous l'appellation : grosse torche, dont le diamètre est 34 mm et la hauteur 61,5 mm ; moyenne torche, de 26 mm de diamètre et 50 mm de hauteur ; petite torche, de 21,5 mm de diamètre et 74 mm de hauteur ; et très petite torche ou « stylo », de 14,5 mm de diamètre et 50,5 mm de hauteur, dont l'appellation varie souvent, suivant les fabricants.

### *Fabrication des piles plates*

Les piles plates sont composées de trois éléments en série. Contrairement aux précédentes, leur partie supérieure comprend une rondelle en carton qui s'appuie sur




▼ *Figure 2 : fonctionnement des éléments primaires et des piles sèches.*




***Fabrication des piles :***
***1 - La sélection sévère des matières premières (bioxyde de manganèse, noir d'acétylène, électrolyte, zinc) est un des facteurs de qualité d'une pile.***
***2 - A partir des matériaux bruts, les bobines de dépolarisant sont réalisées par frittage. Elles subissent un premier contrôle rigoureux.***
***3 - Après injection de l'électrolyte et de la plaquette d'isolant, sont introduits dans le godet en zinc la bobine de dépolarisant et le bâton de carbone. Cette cellule...***
***4 - ... passe ensuite dans un bain de cuisson. Après refroidissement, l'électrolyte est gélifié. Au cours de cette opération, une contrôleuse vérifie que la bobine est bien centrée dans le godet de zinc.***
***5 - Pour éviter le dessèchement des composants, la bobine est recouverte de cire. Après refroidissement, le dépôt d'un joint en polyéthylène blanc permet de libérer les gaz formés pendant la décharge et d'empêcher l'écoulement de l'électrolyte. Puis le contact positif est monté sur le bâton de carbone. Un anneau rouge isole ce contact.***
***6 - Puis, avant de commencer l'habillage de la pile, on vérifie le voltage et l'ampérage. Ce contrôle permet de déceler le moindre défaut qui aurait pu apparaître au cours de la production. Ensuite, le manchon de vinyl est mis en place...***
***7 - ... comme le contact négatif et la rondelle isolante. L'ensemble est chauffé ; en refroidissant, le manchon vinyl assure un ajustement très serré autour de la pile. Cela est la 2ᵉ protection contre le coulage de l'électrolyte. C'est une caractéristique des piles Philips.***
***8 - Introduction dans la chaîne des jupes métalliques.***
***9 - Les piles nues sont convoyées vers le poste d'habillage...***
***10 - ... où elles sont introduites dans les jupes métalliques.***
***11 - Les piles reçoivent la jupe métallique de couleur ou habillage final.***
***12 - Avant d'être emballées, les piles terminées sont soumises à un dernier contrôle électrique.***
***13 - Un exemple d'emballage des piles : emballage par plateau ou « tray pack » qui est une création Philips.***

· Document Philips

le jonc du tube de zinc. On place par-dessus de la cire qui assure l'étanchéité. Une capsule en laiton est enfoncée à force sur le crayon (*fig.* 3).

— Sur la capsule du premier élément, on soude à l'étain une lame en laiton : c'est la liaison positive. A la partie supérieure du tube, on soude sur le zinc un fil étamé.

— On soude sur le zinc du deuxième élément un fil étamé.

— On soude sur le zinc du troisième élément une lame en laiton : c'est la liaison négative.

— Ces trois éléments nus sont placés dans un étui en matière plastique et isolés les uns des autres par un séparateur en forme de U qui entoure l'élément central.

— Le fil étamé du premier élément est soudé à la capsule du deuxième élément ; le fil du deuxième élément est soudé à la capsule du troisième élément.

— On introduit le couvercle en matière plastique qui est collé à l'étui.

— On rabat les lames.

— On pose la bande de garantie.

— On colle l'étiquette.

— On contrôle la force électromotrice à vide et on fait un essai en court-circuit.

### Caractéristiques des piles sèches

Le marché offre généralement aux consommateurs, et pour chaque fabricant, plusieurs prix par type de pile cylindrique. Cette différence a pour origine le bioxyde de manganèse employé :

— le moins cher, qui donne la qualité courante, est le bioxyde naturel ;

— le plus cher, qui donne les meilleures caractéristiques, est le bioxyde électrolytique ;

— la qualité intermédiaire est composée de bioxyde chimique ou d'un mélange des deux bioxydes précités. Les piles plates ne sont généralement fabriquées qu'avec un seul type de bioxyde de manganèse.

## Les accumulateurs au plomb

### Constitution d'un accumulateur au plomb

Un accumulateur au plomb est constitué de plaques, de séparateurs et d'électrolyte, l'ensemble étant placé dans un bac (*fig.* 4).

● Les **plaques.** Ce sont des grilles en alliage de plomb et d'antimoine sur lesquelles on place une couche d'un mélange d'oxyde de plomb, d'eau et d'acide sulfurique. Après une opération qu'on appelle « formation », le mélange est transformé en bioxyde de plomb pour les plaques positives et en oxyde de plomb pour les plaques négatives. Les grilles sont donc remplies par une pâte qui constitue la matière active de la batterie.

Contrairement aux piles, les batteries possèdent plusieurs électrodes positives et négatives reliées entre elles par des conducteurs en plomb.

● Les **séparateurs.** Les plaques doivent être isolées électriquement les unes des autres avec un écartement régulier. Les séparateurs doivent assurer ce rôle sans gêner la circulation de l'électrolyte et en maintenant la nature active des plaques positives.

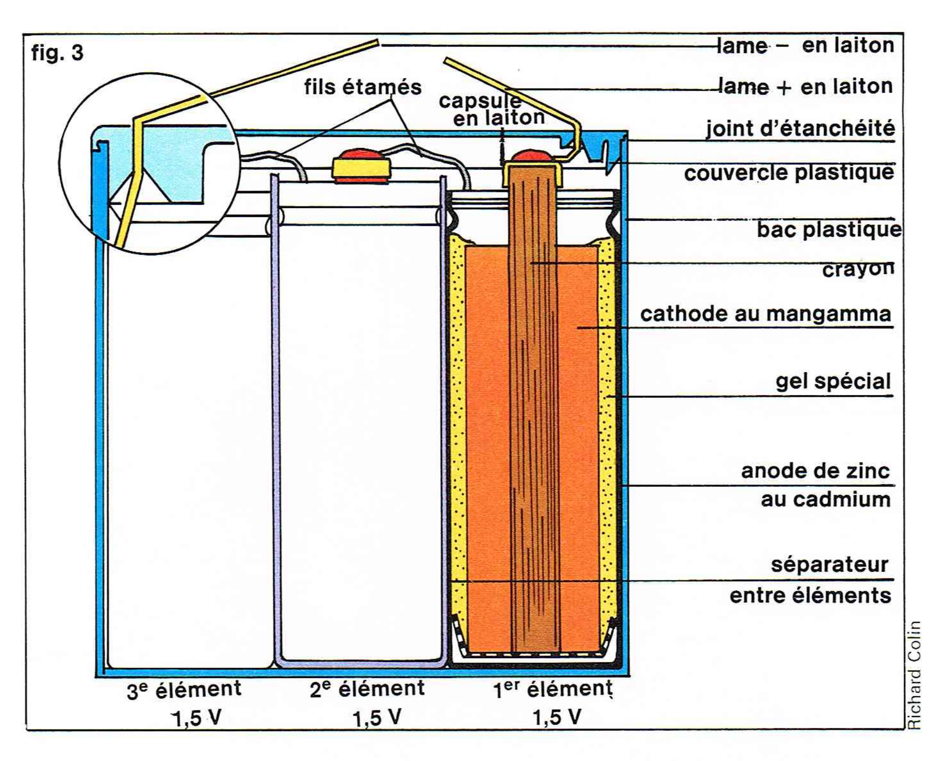
● **L'électrolyte** est un mélange d'acide sulfurique et d'eau. Les proportions sont déterminées pour que la densité soit 1,26 ou 30° Baumé en fin de charge.

● Le **bac** est un récipient destiné à contenir l'ensemble plaques + séparateurs + électrolyte. L'ébonite, utilisée pendant très longtemps, est progressivement remplacée par le polypropylène. Il ne doit pas être attaqué par l'acide sulfurique et doit résister aux chocs et aux écarts de température.

● Les **autres éléments** sont :

* Le *couvercle*. Dans les anciennes batteries, il y avait un couvercle par compartiment, dont l'étanchéité était assurée par du brai. Actuellement, le couvercle est en une seule pièce et collé à l'araldite. Quand le bac est en polypropylène, le couvercle est chauffé et thermo-soudé sur le bac.

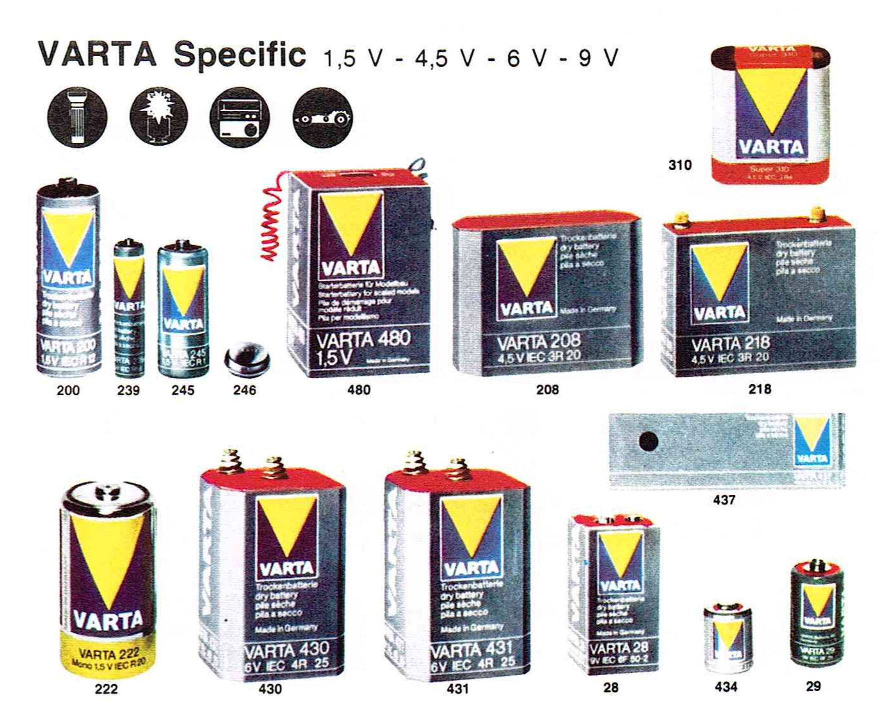
* Les *connexions entre compartiments*. Le nombre de compartiments dépend de la tension désirée. Dans les anciennes batteries, les éléments sont connectés en

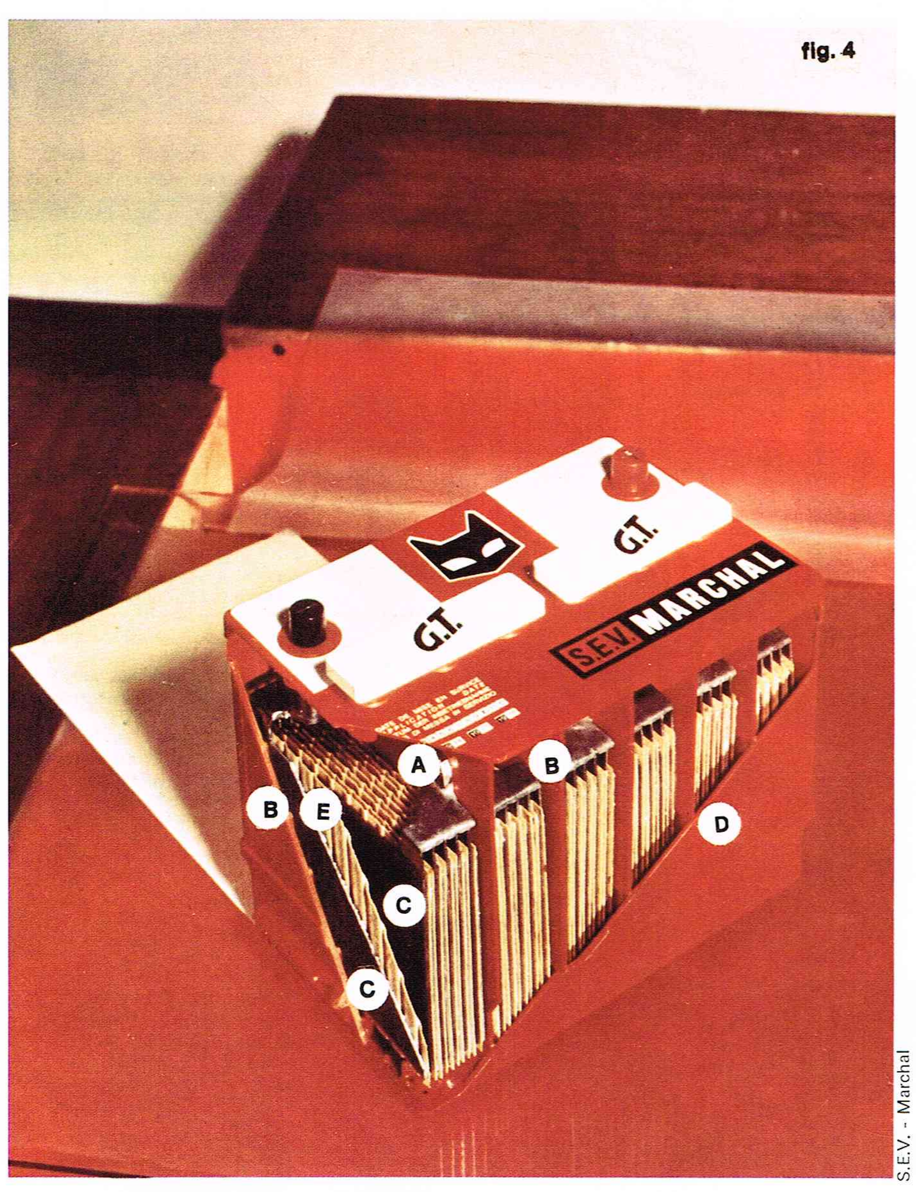



▲ *Figure 3 : éléments constitutifs d'une pile sèche plate.*




◄▼ *Exemple de piles que rien ne différencie extérieurement (hormis l'habillage), alors qu'elles contiennent des éléments chimiques différents. Différents formats de piles (Varta) de 1,5 à 9 volts.*






série à l'aide de ponts extérieurs qui traversent le couvercle. Dans les modèles les plus récents, ce sont des connecteurs qui traversent la cloison qui sépare les compartiments.

* Les *bornes de sortie*. Les liaisons électriques avec l'extérieur se font grâce à des bornes coniques placées à la partie supérieure. Pour éviter l'inversion des polarités, la borne positive a un diamètre plus grand que celui de la borne négative.

## Fonctionnement d'un accumulateur au plomb

Tous les accumulateurs au plomb sont actuellement vendus sous forme de charge sèche. L'électrolyte est fourni séparément dans d'autres récipients. Dans cette configuration, le stockage est pratiquement illimité. Pour utiliser une telle batterie, il suffit de remplir le bac avec l'électrolyte qui est une solution de densité 1,26. Il n'y a alors aucune différence avec les anciens modèles qui étaient vendus avec l'électrolyte dans le bac.

La réaction chimique est la suivante et met en évidence la réversibilité des réactions :

$$PbO_2 + Pb + 2\,SO_4H_2 \underset{\text{charge}}{\overset{\text{décharge}}{\rightleftarrows}} 2\,SO_4Pb + 2\,H_2O$$

Pendant la décharge, le bioxyde de plomb de la plaque positive et le plomb de la plaque négative se combinent à l'acide sulfurique de l'électrolyte pour former du sulfate de plomb et de l'eau qui, en se mélangeant à l'électrolyte, fait baisser la densité. Pendant la charge, l'eau de l'électrolyte et le sulfate de plomb se combinent pour donner du bioxyde de plomb dans la plaque positive et du plomb dans la plaque négative et pour régénérer l'acide sulfurique.

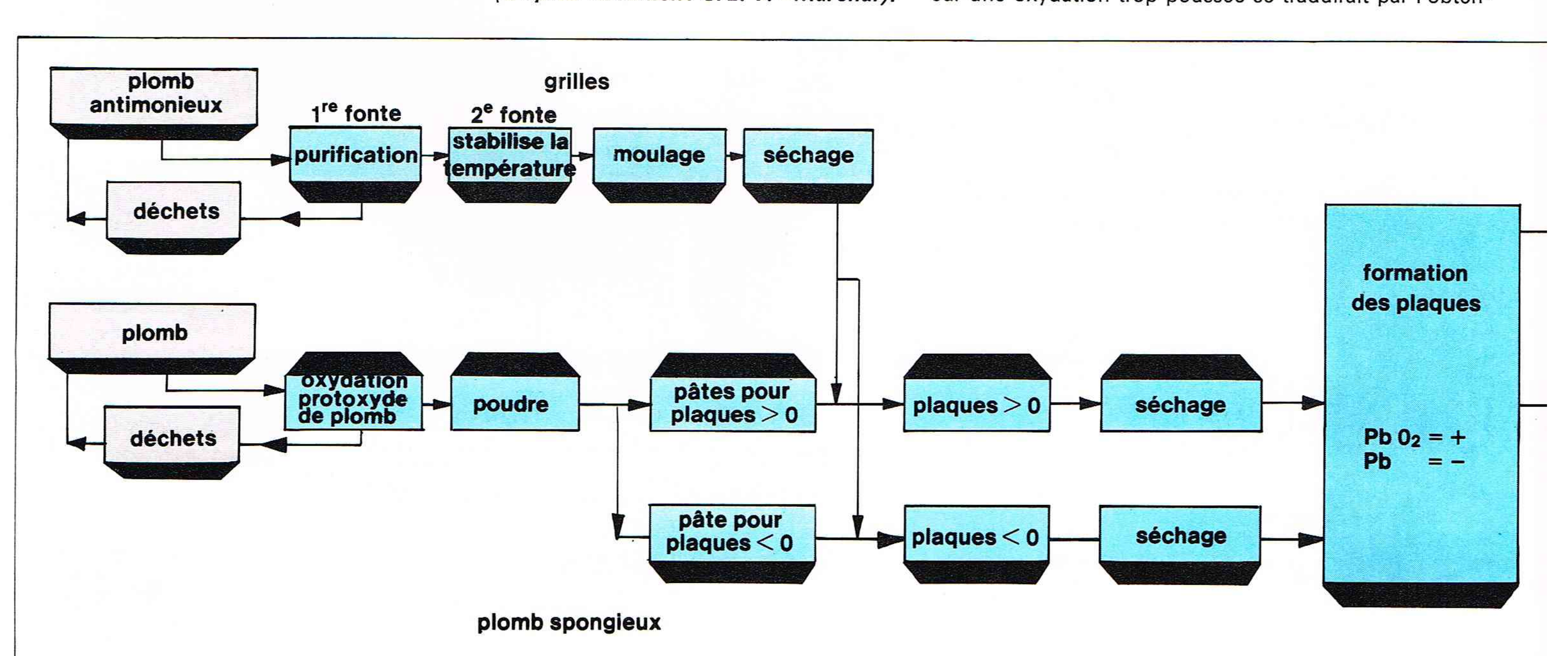
## Fabrication des accumulateurs au plomb

Les différentes phases de fabrication sont portées sur la *figure* 5. On peut les résumer de la façon suivante :

— Les grilles sont faites en alliage de plomb et d'antimoine, ce qui leur donne de bonnes caractéristiques mécaniques. Leur rôle est de supporter les matières actives. Elles n'interviennent pas dans la réaction chimique. Le plomb et l'antimoine sont fondus, puis coulés dans des moules dont la forme permet d'en faire des plaques positives et négatives.

— Les plaques sont obtenues à partir des grilles précédentes en les imprégnant d'une pâte de protoxyde de plomb spongieux. On concasse le plomb en une poudre très fine qui est chauffée dans un four pour être oxydée. Cette opération est surveillée minutieusement, car une oxydation trop poussée se traduirait par l'obten-

▼ *Figure 5 : synoptique de fabrication d'accumulateurs au plomb (d'après document S. E. V. - Marchal).*





C. Bevilacqua




S.E.V. - Marchal

◀ *A gauche, un modèle de batterie datant de 1899 ; à droite, une batterie d'accumulateurs moderne.*

tion de minium. Un liant est mélangé à cette poudre, et la pâte obtenue présente l'aspect d'une argile spongieuse. Le liant permet de distinguer les plaques positives des plaques négatives.

Les premières ont une densité d'environ 4,25, alors que les secondes ont une densité d'environ 4,5. A titre indicatif, on peut rappeler que le plomb a une densité de 11,4.

— Les plaques sont ensuite formées. Cette formation est obtenue en empilant successivement les plaques positive, négative, positive, etc., dans des bacs remplis d'un mélange d'acide sulfurique et d'eau de faible concentration. On branche un générateur qui fait circuler un courant de charge. Une transformation a lieu : le protoxyde de plomb devient du peroxyde de plomb dans les plaques positives et du plomb pur dans les plaques négatives. Le générateur est débranché et les plaques sorties du bac.

— Les plaques positives sont délicatement et minutieusement lavées en eau courante de manière à éliminer l'acide et à stopper la réaction chimique. Elles sont ensuite séchées avant d'effectuer des tests de qualité : la perméabilité à l'acide, l'imperméabilité à l'eau et la résistance électrique.

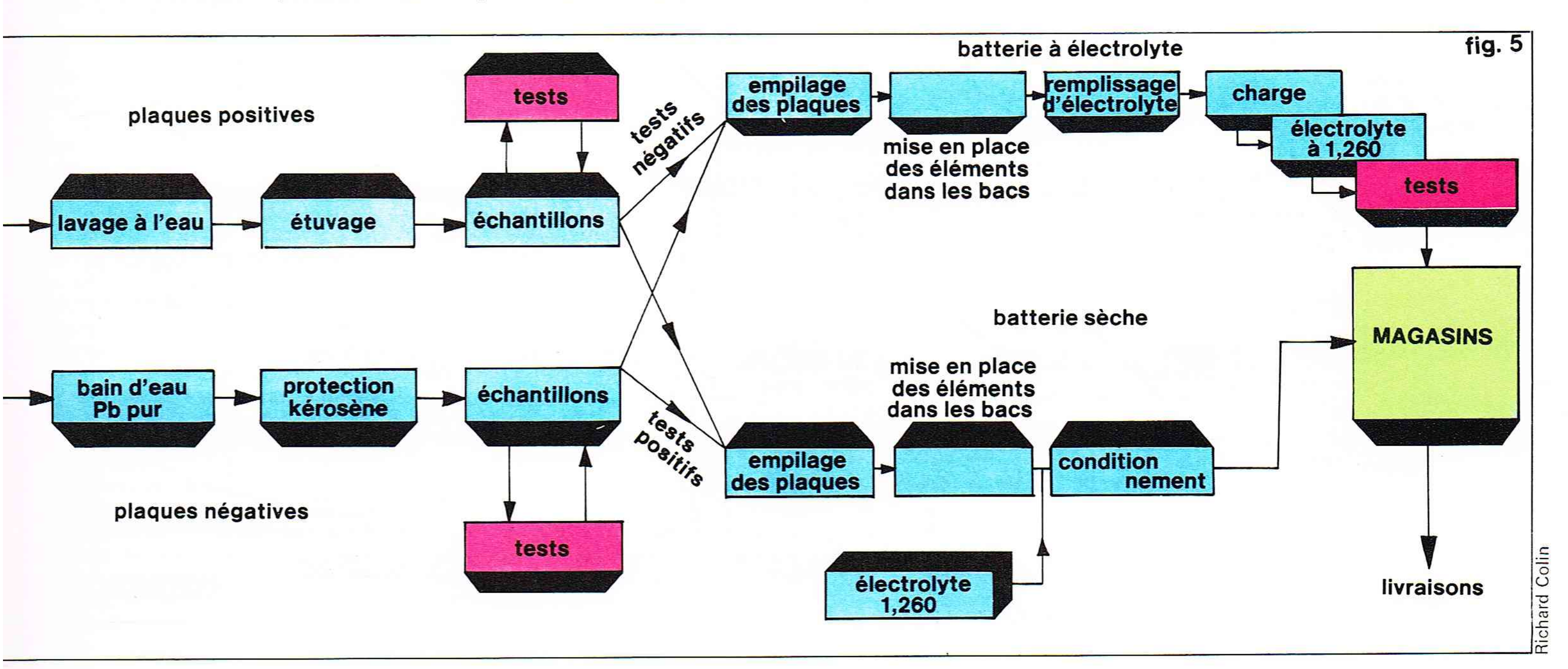
— Les plaques négatives sont transportées dans des récipients pleins d'eau pour les placer dans une atmosphère de kérosène qui stabilise la réaction chimique et forme une couche protectrice. Le transport sous eau est indispensable, car le plomb à l'état pur s'enflamme à l'air.

— Le bac, réservoir destiné à recevoir les plaques, est maintenant fait en polypropylène. Ce nouveau matériau a une résistance aux chocs multipliée par 20 à — 18 °C par rapport à l'ébonite pour un gain de poids de l'ordre de 30 %. Il est, bien sûr, inattaqué par l'acide sulfurique. Pour une robustesse supérieure à celle de l'ébonite, la finesse des parois et de la cloison permet un gain en volume de 10 à 15 % au profit de la surface des plaques et de la quantité d'électrolyte.

— Les plaques sont ensuite introduites dans les bacs. Une batterie peut se composer de plusieurs éléments mis en série pour augmenter la tension aux bornes. Chaque élément comporte plusieurs plaques en parallèle. Les plaques positives et négatives doivent être isolées les unes des autres pour éviter les courts-circuits internes. Pour ce faire, on intercale des séparateurs qui présentent une face ondulée que l'on place face à la plaque positive de manière que le plus grand volume possible d'acide soit en contact avec cette plaque. Ils sont constitués en matière fibroporeuse qui permet le libre passage des ions.

— Les liaisons électriques de compartiment à compartiment se font actuellement directement à travers la cloison avec interposition d'un joint souple. Cette technique diminue la résistance des connexions et augmente la rigidité et le maintien des plaques qui sont ainsi rendues solidaires du bac.

◀ ***Page ci-contre, figure 4 :*** *A = passage direct de la connexion à travers la cloison du bac. B = la finesse des cloisons en polypropylène permet un gain en volume de 10 à 15 % par rapport aux bacs en ébonite au profit de la surface des plaques et de la quantité d'électrolyte. C = plaque. D = bac en polypropylène, matériau issu des industries du pétrole. Résistance aux chocs multipliée par 20 à — 20 °C et gain de poids de l'ordre de 30 %. Bac et couvercle sont coulés sous pression et soudés à haute température pour former un monobloc pratiquement indestructible. Intégralement imperméable à l'acide, même à long terme, il supprime toute fuite par porosité. E = séparateurs en matière fibroporeuse isolante.*




Richard Colin


S.E.V. - Marchal

▲ *Chaîne de montage des plaques en éléments et assemblage dans le bac des batteries au plomb.*

— Le couvercle, de même nature que le bac, est soudé à celui-ci ou collé à l'araldite.

— Les batteries sont ensuite testées, puis stockées avant d'être emballées et livrées.

## *Types d'accumulateurs*

On trouve, sur le marché, des accumulateurs au plomb qui nécessitent un entretien et d'autres qui en sont exempts. Les premiers sont très connus, ne serait-ce que par leur utilisation dans les véhicules automobiles. Les seconds reposent sur le même principe électrochimique que les précédents. Ils sont entièrement scellés, ce qui élimine le complément d'eau chimiquement pure.

### *Accumulateurs au plomb nécessitant un entretien*

Leur constitution a été précédemment décrite.

#### Applications

Ces accumulateurs équipent les véhicules de tourisme, les véhicules utilitaires, les moissonneuses-batteuses, les tracteurs agricoles, les engins spéciaux, les sources de secours, etc.

#### Vérification d'une batterie

Une batterie neuve ne nécessite pratiquement pas de vérifications avant usage; par contre, une batterie qui a déjà servi doit être examinée sérieusement avant réemploi. L'énumération qui suit n'est pas exhaustive, elle ne fait que mettre en valeur les points principaux sur lesquels il est nécessaire de porter son attention.

* Il faut noter la date de vente de la batterie et s'assurer de sa date de dépose et du type de véhicule qu'elle alimentait.

* Examiner les faces et notamment le fond dont l'état illustre bien l'entretien du précédent utilisateur. Vérifier si le bac n'est pas cassé, fissuré, poreux en le posant sur une feuille de papier après l'avoir très soigneusement nettoyé.

* Vérifier les densités en débranchant la batterie, sans ajouter d'eau, en numérotant les éléments du pôle + vers le pôle —. Si la densité est homogène avec une dispersion inférieure à 0,05 et une valeur moyenne supérieure à 1,23, la batterie est en bon état; si la valeur moyenne est inférieure à 1,23, la batterie est à recharger. Si la densité est hétérogène avec une dispersion supérieure à 0,05, la batterie est douteuse, quelle que soit la valeur moyenne.

* Tester la décharge à l'aide d'un appareil qui mesure la tension aux bornes quand la batterie débite un courant dont la valeur voisine celle du courant de démarrage. Cette tension dépend de l'usure de la batterie et de la densité moyenne des éléments. Il faut maintenir constante l'intensité et tracer la courbe de variation de la tension.

Trois cas sont à considérer :

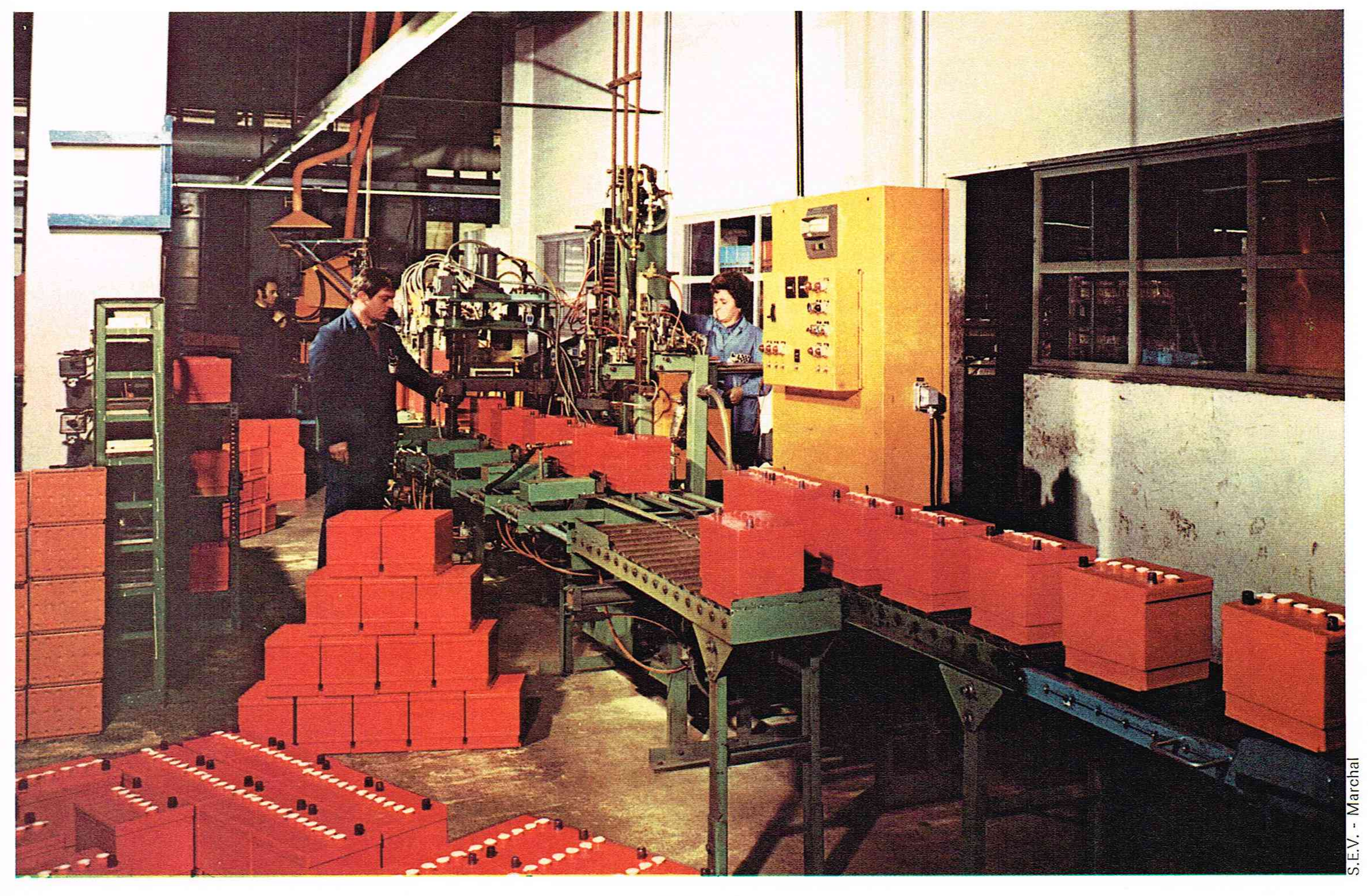
— Si la densité est haute et supérieure à 27 °B, la batterie est bonne si la tension ne chute pas au-dessous de 4,4 V pour une batterie de 6 V, et 8,8 V pour une batterie de 12 V.

— Si la densité est comprise entre 24 et 27 °B, la batterie est bonne mais doit être rechargée si la tension est stable et égale à 4 V pour une batterie de 6 V, et 8 V pour une batterie de 12 V.

— Si la densité est inférieure à 24 °B, il est recommandé de recharger la batterie avant de faire les tests. Dans ce cas, le test peut être satisfaisant alors que la batterie ne tient plus la charge parce que sa recharge est récente.

* Tests de conservation de charge : il faut charger la batterie après avoir vérifié les niveaux, noter les densités et la température, laisser reposer la batterie et noter périodiquement — quelques jours — les densités. Si la densité baisse de 2 °B par mois, la batterie est saine; de 4 °B par mois, la batterie est usée.

Une batterie défectueuse peut avoir un court-circuit à l'intérieur d'un élément, un court-circuit entre deux éléments, la cloison intermédiaire peut être fendue.



S.E.V. - Marchal

▲ *Chaîne de contrôle de l'isolation électrique entre les plaques et de l'étanchéité des batteries au plomb.*

**Recommandations**

Il est indispensable de vérifier régulièrement les niveaux, surtout par les fortes chaleurs où l'évaporation est plus importante et si les courants de fin de charge sont plus élevés. La batterie vieillit d'autant plus rapidement que les plaques sont découvertes. Les niveaux seront complétés par addition d'eau chimiquement pure. Ne jamais ajouter d'acide.

Recharger une batterie dont les densités sont inférieures à 27 °B ; le régime de charge doit être compris entre le 1/20e et le 1/10e de la capacité indiquée en Ah. Par exemple, une batterie de 45 Ah doit être rechargée avec une intensité comprise entre 2 et 4 ampères. Arrêter la charge quand apparaît un dégagement gazeux franc dans tous les éléments, quand la densité de l'électrolyte est constante et quand la tension est constante.

Après la charge, le niveau de l'électrolyte doit se situer à 10/15 mm au-dessus des plaques.

La batterie doit toujours être propre et sèche. Si l'électrolyte a débordé, nettoyer avec un mélange d'eau et de carbonate de soude et rincer à l'eau claire, puis sécher.

Les bornes et colliers doivent être enduits de vaseline pure. Les colliers et les bornes doivent être démontés et nettoyés sérieusement et régulièrement pour éviter la formation d'une couche isolante entre eux.

En cas de stockage, charger la batterie tous les mois. Si elle est restée trop longtemps déchargée, il faut lui faire subir une opération de « désulfatation » qui a pour but de réduire la sulfatation trop poussée qui a pris naissance. On peut soit la charger à 1/20e de sa capacité (2 A pour 45 Ah) pendant 2 heures après l'apparition des indices de fin de charge sans changer l'électrolyte, soit faire un traitement de désulfatation à l'eau. Il consiste à vider la batterie et la laisser s'égoutter, la remplir d'eau, la mettre en charge à 1/20e de sa capacité, vérifier la densité, renouveler les opérations précédentes tant que cette densité sera supérieure à 15 °B. Vider la batterie, laisser s'égoutter, la remplir avec une solution d'acide à 35/39 °B, la remettre en charge pendant deux heures et régler la densité à 30 °B environ par addition d'eau ou d'acide. Toute addition d'acide doit être suivie d'une charge d'une demi-heure minimale.

De réels progrès sont faits actuellement dans la réalisation des batteries ; les caractéristiques sont portées au *tableau* I.

Les caractéristiques des batteries varient dans de larges plages suivant les utilisations :

— batteries de démarrage pour automobiles et camions (capacité en 20 h) :
de 30 Ah, avec 9 plaques, de masse 13 kg avec liquide,
à 224 Ah, avec 26 plaques, de masse 40 kg avec liquide ;

— batteries avec électrolyte pour motocyclettes (capacité en 10 h) :
de 6 Ah avec une masse de 1,5 kg,
à 24 Ah avec une masse de 4 kg ;

▼ *Tableau I : caractéristiques des batteries d'accumulateurs au plomb nécessitant un entretien.*

**Tableau I - Caractéristiques des batteries d'accumulateurs au plomb nécessitant un entretien (documentation SEV-Marchal)**

| | |
|---|---|
| **Comparaison de maintien de charge dans le temps** (test effectué avec décharge de 20 A à + 30 °C) | |
| — Batterie classique | 78 mn |
| — Nouvelle batterie en ébonite | 114 mn |
| — Batterie rouge en polypropylène | 139 mn |
| **Comparaison de durée, en utilisation continue du démarreur** (test effectué avec décharge de 300 A à — 20 °C) | |
| — Batterie classique | 1 mn 8 s |
| — Nouvelle batterie en ébonite | 2 mn 5 s |
| — Batterie rouge en polypropylène | 3 mn 9 s |
| **Comparaison de la vitesse de rotation du démarreur** (test effectué avec décharge de 300 A à — 20 °C) | |
| — Batterie classique | 42 t/mn |
| — Nouvelle batterie en ébonite | 51 t/mn |
| — Batterie rouge en polypropylène | 61 t/mn |

— batteries sèches pour motocyclettes (capacité en 10 h) :
de 5 Ah avec une masse de 1,5 kg,
à 37 Ah avec une masse de 13,5 kg;

— batteries pour clôtures électriques (capacité en 200 h) :
de 12 à 70 Ah;

— batteries pour la marine (capacité en 10 h) :
de 105 Ah 12 V à 685 Ah 2 V, intensité maximale au démarrage 250 à 1 300 A.

### *Accumulateurs au plomb exempts d'entretien*

Les plaques des grilles positives et négatives contiennent les masses actives. Des plaques positives sont prévues comme plaques d'extrémité contrairement aux constructions usuelles. Les plaques de même polarité sont amenées séparément au moyen de talons à travers le couvercle et là sont brasées avec des ponts polaires et ensuite scellées dans de la résine.

La séparation des plaques est réalisée par des séparateurs à nappe et ne peut s'échapper. La construction de la soupape ferme l'élément de façon étanche et évite d'autre part la sortie de l'électrolyte. La soupape assure également la garantie que la surpression de l'élément soit éliminée dans le cas d'une charge défectueuse. Chaque batterie est constituée de différents éléments qui sont branchés entre eux par des barrettes de liaison disposées et scellées dans les couvercles.

#### Applications

Appareils de radio et de télévision portatifs, magnétophones, appareils de mesure, commandes électriques, installations d'éclairage de secours, installations d'alarme, caméras électriques, installations d'alimentation de secours, installations d'émission et de réception radio, jouets, installations de signalisation et d'horloge, construction de maquettes (batteries d'entraînement, batteries de démarrage pour moteurs à combustion interne), appareils médicaux, calculateurs de table électroniques.

#### Décharge

En principe, la capacité pour 20 heures est indiquée comme capacité nominale ($C_{20}$) pour les petits accumulateurs au plomb exempts d'entretien.

Le courant de décharge nominal en 20 heures est $I_{20}$.

La tension nominale s'élève à 2 V par élément.

Le nombre des éléments par batterie est fonction des limites de tension supérieures ou inférieures exigées.

Les accumulateurs peuvent être très sollicités à un niveau élevé; dans le cas d'une décharge continue, ils peuvent supporter sans difficulté des courants d'un ordre de grandeur de $40 \times I_{20}$ et momentanément jusqu'à un maximum de $400 \times I_{20}$.

La tension limite inférieure admissible et la capacité prélevable sont fonction du courant de décharge correspondant.

Il faut alors observer que la capacité prélevable décroît avec le niveau du courant de décharge. Les tensions de décharge indiquées ne devraient pas être inférieures dans l'intérêt de la longévité de la batterie.

#### Charge

La charge des accumulateurs doit en principe être réalisée avec une limitation de la tension du courant, et ce d'après une des deux méthodes de charge suivantes : courbe caractéristique UI et courbe caractéristique WU. Le courant de charge doit alors être réglé au maximum sur $14 \times I_{20}$.

La tension de charge doit être limitée :

— dans le cas du fonctionnement cyclique, c'est-à-dire du fonctionnement avec charge-décharge à un maximum de 2,35 V/élément;

— dans le cas d'une charge permanente ou d'un fonctionnement avec disponibilité à 2,25-2,30 V/élément. Les courants de charge permanents ou moyens (courants de charge résiduels) s'établissent alors entre 5 et 15 mA.

Dans le cas d'une charge d'après la courbe caractéristique UI, le temps de charge s'élève à environ 15 heures. Le temps de charge jusqu'à la pleine charge des accumulateurs en service d'entretien, pour lequel la tension limite de charge se situe entre 2,25-2,30 V/élément, est en général compris, suivant le courant de charge initial, entre 20 et 48 heures. Le courant de charge résiduel, s'établissant dans le cas de ce mode de fonctionnement, garantit la préservation de la charge et peut s'écouler de façon permanente dans l'accumulateur sans effet préjudiciable, même lorsque aucun prélèvement de capacité n'a lieu pendant des périodes prolongées. D'autres genres de charges ne sont pas recommandés en raison de l'endommagement possible des accumulateurs. Si, dans des cas particuliers, des temps de charge particulièrement courts sont exigés, il est tout à fait possible d'exécuter une charge à tension constante sans limitation du courant.

La tension limite de charge ne devrait pas en règle générale dépasser 2,34 V/élément et, dans un cas exceptionnel, 2,4 V/élément. Il faut alors limiter le temps de charge au maximum à 15 heures pour éviter des surcharges importantes.

#### Rendement, facteur de charge

Tout comme dans le cas des batteries au plomb de construction classique, le rendement se situe à environ 90 %; le facteur de charge s'élève donc à 1,1. C'est-à-dire que l'on doit charger les batteries avec une quantité d'électricité supérieure de 10 % à celle que l'on prélève.

Le rendement en watts/h se situe suivant la sollicitation entre 69 et 77 %.

La contenance d'énergie de la batterie se situe entre 60 et 63 Wh/litre ou 20 et 31 Wh/kg.

#### Autodécharge

Les accumulateurs au plomb présentent une très faible autodécharge.

L'autodécharge s'accroît de façon correspondante à des températures et une humidité de l'air plus élevées; elle décroît de façon importante à des températures plus basses et s'arrête pratiquement à des températures inférieures à 0 °C.

#### Comportement de la température

Les températures admissibles pour l'exploitation de la charge et le stockage sont :

— charge : 0 à + 45 °C
— décharge : — 20 à + 45 °C
— stockage : — 30 à + 45 °C

Les capacités prélevables et le niveau de tension sont particulièrement fonction de la température comme dans le cas des accumulateurs au plomb de construction ouverte. Des températures plus élevées améliorent la capacité et le niveau de la tension, des températures plus faibles détériorent ces caractéristiques.

#### Longévité

Une longévité d'au minimum 200 cycles complets est escomptable pour des batteries utilisées de façon cyclique et en prenant comme référence le courant de décharge $I_{20}$. Le nombre de cycles s'accroît de façon importante dans le cas de décharges partielles. La valeur indicative ci-dessus mentionnée suppose un traitement parfait, en particulier une charge correcte, et est valable pour la température ambiante.

Les batteries destinées à un fonctionnement à charge permanente atteignent une longévité de 4 à 5 ans dans le cas d'une utilisation correcte.

#### Stockage

Les températures de stockage admissibles vont de — 30 °C à + 45 °C. Le stockage à humidité de l'air normale et à des températures comprises entre 10 et 20 °C est le plus recommandable.

Les accumulateurs doivent être normalement chargés avant le stockage. Dans le cas d'une température d'environ 20 °C, une durée de stockage d'environ 15 mois est possible sans recharge. Pour obtenir des valeurs de longévité optimales, des recharges sont recommandées après une durée de stockage de 4 à 6 mois.

Dans le cas de températures supérieures, la durée du stockage se réduit de façon correspondante, par exemple, à 45 °C environ 3 à 5 mois. Dans le cas de températures plus basses, l'intervalle jusqu'à la recharge s'accroît.

## Les accumulateurs cadmium-nickel

### Constitution d'un accumulateur cadmium-nickel

Il en existe deux types : les accumulateurs à électrodes standards et les accumulateurs à électrodes frittées. Ils se présentent sous trois formes : les éléments boutons à électrodes standards dont la capacité est comprise entre 10 mAh et 1 Ah, les éléments cylindriques à électrodes standards et frittées dont la capacité est comprise entre 100 mAh et 7 Ah, et les éléments prismatiques à électrodes standards et frittées de capacité comprise entre 1,6 Ah et 23 Ah.

#### Éléments boutons

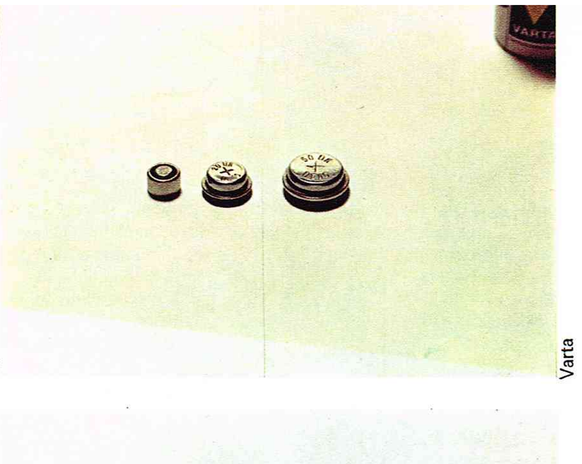
Les éléments boutons se composent d'un godet formant boîtier (pôle positif) et d'un couvercle (pôle négatif), qui sont pourvus de cosses à souder dans les modes d'exécution normaux. Les électrodes sont constituées de pastilles pressées, enfermées dans une toile métallique en nickel, entre lesquelles se trouve un séparateur à haute porosité. La fermeture s'opère par le sertissage du bord du godet sur le couvercle, avec interposition d'un anneau d'étanchéité en matériau synthétique qui assure également l'isolement électrique (*fig.* 6).

Au lieu d'électrodes simples, certains éléments boutons de série sont munis d'électrodes doubles. Grâce à cette construction, ces éléments sont caractérisés par une résistance interne particulièrement faible et, de ce fait, se prêtent spécialement à des décharges très élevées sans variation de tension.

#### Éléments cylindriques

**A électrodes standards**

Les éléments cylindriques à électrodes standards se composent d'un godet en acier étiré à cannelures à l'intérieur duquel sont introduites les électrodes. L'électrode positive ainsi que les divers segments négatifs sont enveloppés chacun dans une toile métallique en nickel. Un séparateur à haute porosité isole les électrodes entre elles. L'électrode négative est située contre le boîtier métallique en un contact intime avec lui. L'étanchéité est assurée par une rondelle en matériau synthétique à même le couvercle de l'élément. La sortie étanche pour




◄ *Accumulateurs Varta au cadmium-nickel ou au plomb, étanches, de 1,2 à 9 volts.*

Varta

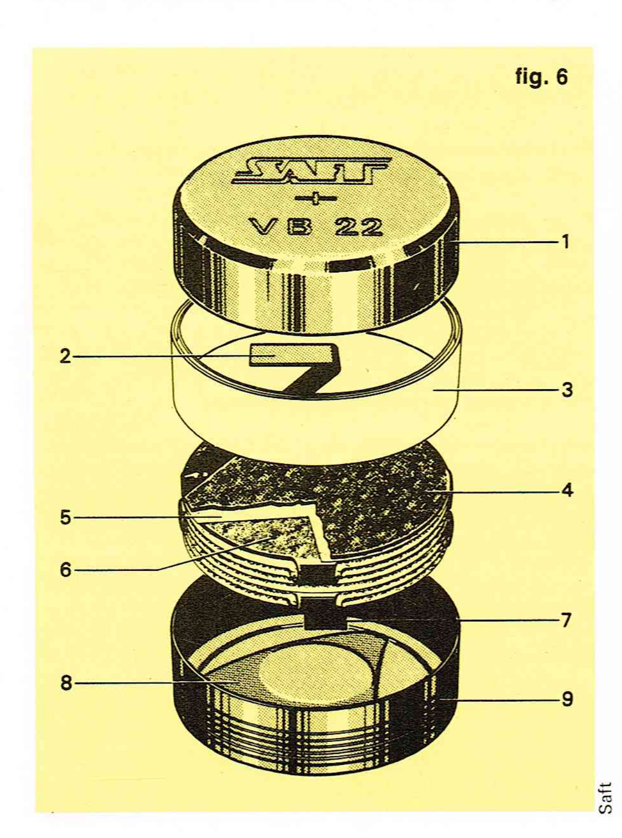



Varta

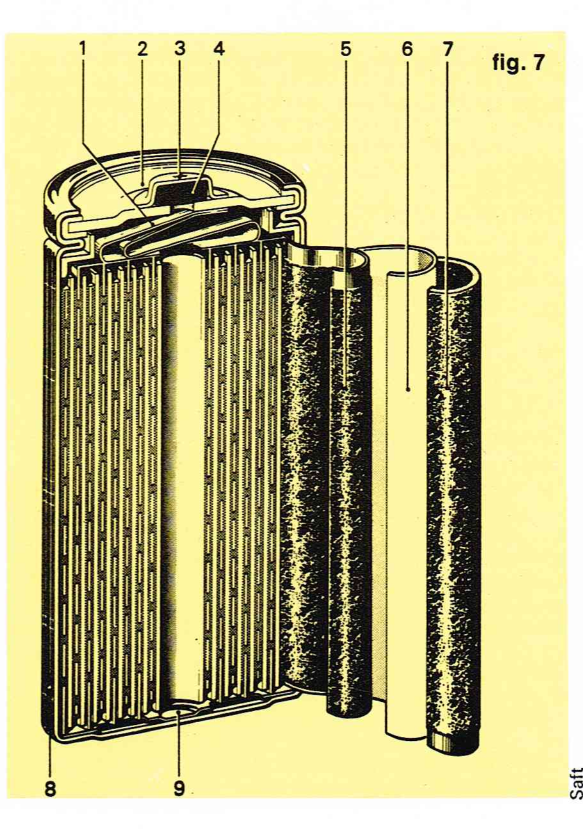





Varta



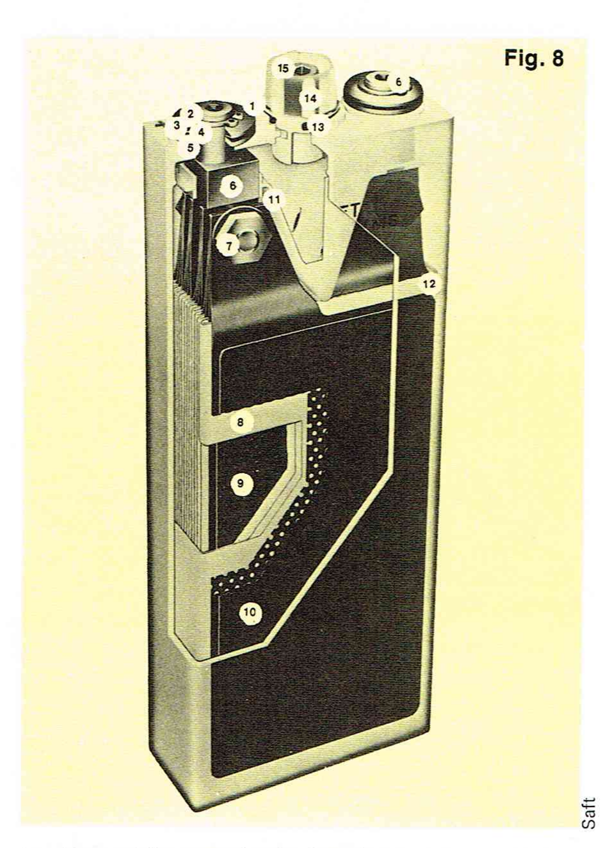

Saft

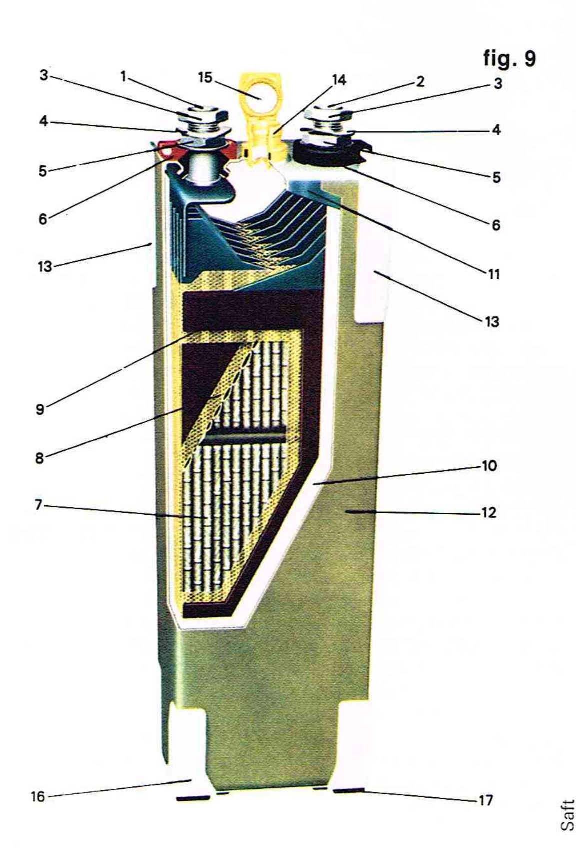



Saft

◄ *A gauche, figure 6 ; vue éclatée d'un élément bouton au cadmium-nickel : 1, coupelle positive ; 2, connexion positive ; 3, joint isolant ; 4, électrode positive ; 5, séparateur ; 6, électrode négative ; 7, connexion négative ; 8, ressort ; 9, coupelle négative.*

*A droite, figure 7 ; vue éclatée d'un élément cylindrique au cadmium-nickel : 1, connexions positives ; 2, couvercle ; 3, bossage central (pôle positif) ; 4, dispositif de sécurité ; 5, plaque positive ; 6, séparateur ; 7, plaque négative ; 8, bec en acier nickelé ; 9, connexions négatives.*




▶ *A gauche, figure 8 ; vue éclatée d'un accumulateur de puissance au cadmium-nickel particulièrement destiné aux applications nécessitant de très fortes intensités de décharge : 1, couvercle ; 2, circlip ; 3, rondelle élastique ; 4, rondelle plate ; 5, joint tore ; 6, borne ; 7, assemblage électrodes-bornes ; 8, séparateur ; 9, électrode négative ; 10, électrode positive ; 11, déflecteur ; 12, bac ; 13, joint tore ; 14, bouchon remplissage ; 15, soupape.*

*A droite, figure 9 ; accumulateur tubulaire au cadmium-nickel spécialement destiné aux appareils de traction et de manutention : 1, bornes positives en acier nickelé ; 2, bornes négatives en acier nickelé ; 3, écrous de serrage des connexions en acier nickelé ; 4, rondelle de serrage en acier nickelé ; 5, écrous de presse-étoupe en acier nickelé ; 6, rondelles d'isolement en polyamide ; 7, tube positif en acier nickelé ; 8, séparateur en PVC ; 9, plaques négatives frittées ; 10, isolant interne en PVC ; 11, bacs en acier soudé ; 12, revêtement isolant en résine Epoxy ; 13, cale supérieure en polyamide ; 14, orifice de remplissage ; 15, clapet d'obturation ; 16, cale inférieure en polypropylène ; 17, semelle en élastomère.*

le pôle positif est pratiquée dans la rondelle qui sert de couvercle : ce pôle est constitué par un téton de contact ou par une cosse à souder suivant les types (*fig.* 7).

#### A électrodes frittées

Dans les éléments cylindriques à électrodes frittées, les électrodes ont la forme d'un enroulement fabriqué à partir de bandes frittées à haute porosité. Elles sont logées dans un boîtier d'acier étiré, nickelé.

Cette structure frittée des électrodes est imprégnée d'une combinaison nickel-oxygène pour l'électrode positive et cadmium-oxygène pour l'électrode négative. L'isolement des électrodes entre elles est assuré par un séparateur en tissu synthétique. Le conducteur de l'électrode négative est soudé au boîtier, tandis que l'électrode positive est reliée au couvercle du boîtier, également en tôle d'acier nickelé. Un anneau en matériau synthétique assure l'étanchéité de l'élément et l'isolement du couvercle du boîtier. L'électrolyte est constitué d'une lessive de potasse maintenue dans les électrodes et le séparateur.

Les éléments cylindriques à électrodes frittées présentent une résistance interne très faible. Ils sont donc particulièrement aptes aux grands débits dans de bonnes conditions de tension. Ces éléments peuvent débiter en continu des courants dont la valeur peut atteindre jusqu'à 20 fois l'intensité nominale et, pour des décharges brèves, jusqu'à 40 fois cette valeur. Dans les décharges par impulsions, ils peuvent même fournir des intensités encore plus élevées.

### *Éléments prismatiques*

#### A électrodes standards

La structure des éléments prismatiques à électrodes standards ne se différencie que peu de celle des éléments au cadmium-nickel à sacs, aérés. La masse active est enfermée dans des sacs rapportés sur des plaques. Les plaques positives et négatives sont respectivement assemblées par jeux. Les deux jeux sont isolés l'un de l'autre par un séparateur en matériau synthétique. Alors que l'un des jeux de plaques est en contact électrique avec le boîtier, le pôle de l'autre traverse le couvercle du boîtier par une sortie isolée électriquement.

Les éléments de 4,5 Ah et plus sont équipés de bornes à vis ; au-dessous de 4,5 Ah, ils sont munis d'une borne à vis et d'une cosse à souder fixée sur le boîtier par quelques points de soudure électrique.

#### A électrodes frittées

Le principe de construction des éléments prismatiques à électrodes frittées est similaire, hormis le fait que leurs électrodes sont constituées par des structures frittées présentant une grande porosité. Elles sont imprégnées d'une combinaison nickel-oxygène pour la partie positive, et cadmium-oxygène pour la négative. Les plaques négatives et positives sont respectivement réunies en deux jeux d'électrodes. L'isolement des deux électrodes entre elles est pareillement assuré par un séparateur en matière synthétique.

Alors que l'un des jeux de plaques est en contact électrique avec le boîtier de l'élément, le contact de l'autre traverse le couvercle du boîtier par un orifice de sortie isolé. On utilise comme électrolyte une lessive de potasse maintenue dans les électrodes et le séparateur.

## *Fonctionnement d'un accumulateur cadmium-nickel*

La réaction chimique est la suivante et met en évidence la réversibilité des réactions :

$$\underbrace{2\,\mathrm{NiO\,(OH)}}_{\text{électrode positive}} + \underbrace{\mathrm{Cd}}_{\text{électrode négative}} + 2\,\mathrm{H_2O} \underset{\text{charge}}{\overset{\text{décharge}}{\rightleftarrows}} \underbrace{2\,\mathrm{Ni\,(OH)_2}}_{\text{électrode positive}} + \underbrace{\mathrm{Cd\,(OH)_2}}_{\text{électrode négative}}$$

Au cours de la décharge, la masse positive 2 NiO (OH) se réduit en 2 Ni $(OH)_2$, alors que s'oxyde la masse négative. Nous voyons que les deux parties d'eau 2 $H_2O$ proviennent de l'électrolyte.

## *Assemblage des éléments*

### *Éléments boutons*

On les assemble en série en les montant les uns sur les autres. Les liaisons électriques se font par soudure pour les éléments à cosses à souder ou par simple contact pour les éléments à boutons de contacts à pression. Il est évident que la meilleure solution est la première. Il ne faut jamais souder sur les éléments. Si l'on emploie

des ressorts de contact, utiliser de l'acier nickelé, et proscrire le cuivre et les alliages cuivreux qui peuvent donner naissance à des dépôts et engendrer la corrosion.

***Éléments cylindriques et prismatiques***

Sauf contre-indication du fabricant, il n'y a pas de difficultés à associer en série des éléments.

## Caractéristiques

— La tension nominale d'un élément cadmium-nickel est 1,2 volt. C'est la valeur moyenne de la tension aux bornes au cours du temps total de décharge. Quand l'accumulateur vient d'être chargé, sa force électromotrice est comprise entre 1,35 et 1,40 volt.

— La capacité nominale est donnée pour une décharge en 10 heures et l'intensité nominale par la valeur du courant pendant ces 10 heures de débit, exception faite de certains types pour lesquels la durée de décharge est 5 heures. A 20 °C, la tension en fin de décharge est comprise entre 1 et 1,1 volt.

— La température influe faiblement sur la capacité et la tension, mais soulignons que les éléments à électrodes standards sont plus affectés par les basses températures que ne le sont les éléments à électrodes frittées.

— Le rendement est 0,72 pour les éléments à électrodes standards et 0,84 pour les éléments à électrodes frittées. Les facteurs de charge varient entre 1,4 et 1,2, ce qui signifie qu'il faut faire absorber à la charge 40 à 20 % de plus que la capacité qui avait été prélevée.

— L'autodécharge est faible pour les éléments à électrodes standards et légèrement plus élevée pour les éléments à électrodes frittées. Elle augmente avec la température et le degré hygrométrique. Elle s'annule pratiquement à 0 °C.

— La résistance interne dépend du niveau de charge, de la capacité et du mode de construction. Pour un élément bouton, à électrodes standards, la résistance interne est de l'ordre de 0,5 ohm au début de la décharge, alors qu'un élément cylindrique à électrodes frittées aura 0,01 ohm.

— Durée de vie. L'une des qualités les plus précieuses, qui, dans nombre de cas, est déterminante pour l'emploi de l'accumulateur au cadmium-nickel étanche, est son aptitude extraordinaire à résister aux efforts mécaniques les plus rudes et les plus forts, grâce à sa construction et aux matériaux qu'elle met en œuvre. Un autre avantage de l'accumulateur au cadmium-nickel réside dans sa grande aptitude au stockage, de sorte que sa durée en service ne dépend pratiquement pas de son ancienneté, mais des contraintes électriques imposées.

Avec des accumulateurs travaillant seulement en charge/décharge (fonctionnement cyclique), on table, par exemple, sur une durée de vie de plus de 500 cycles dans le cas des éléments à électrodes frittées, cela sous courant nominal. Il faut compter ensuite sur une réduction d'environ 20 à 25 % de la capacité, mais si la charge est faite chaque fois après une courte décharge partielle, la durée de vie, exprimée en nombre de décharges partielles, augmente considérablement. Avec les éléments à électrodes frittées en charge permanente, on peut compter sur une durée de vie de cinq ans environ, avec une réduction de la capacité d'environ 30 à 40 % lorsque l'intensité du courant de charge est comprise entre le cinquième et la moitié de l'intensité $I_{10}$ du courant de décharge normal en 10 heures, appelée aussi intensité nominale de charge ($I_{10}$).

On dispose pareillement d'un nombre considérable de résultats de recherches, effectuées entre-temps, au sujet de l'influence de la charge rapide sur la durée de vie des éléments frittés, en particulier sous l'intensité maximale $20 \times I_{10}$ admise pour ce mode de charge. Si la charge rapide est menée de manière telle que 80 % de la capacité soit chaque fois à nouveau disponible, la durée de vie moyenne dépasse 500 cycles, avec une perte de capacité de 20 % environ. Ainsi, la durée de vie n'est pas affectée par la charge rapide.

## Avantages des accumulateurs au cadmium-nickel

Ils sont utilisables quelle que soit la position où on les place, exécutables sous les dimensions les plus réduites et, comme d'autres éléments de circuits électriques, incorporables à demeure avec ceux-ci. Comme ils ne nécessitent aucun entretien, on les emploie principalement pour la fourniture de courant dans les petits appareils portatifs.

Ils ont une longue durée de vie ; une bonne tenue de la tension en cours de décharge, même aux débits élevés ; une insensibilité aux décharges profondes et aux surcharges ; des possibilités d'utilisation même aux basses températures jusqu'à — 40 °C, une grande résistance mécanique ; une autodécharge minime, une technique de charge des plus simples ; une aptitude au stockage quel que soit le niveau de la charge.

Les éléments boutons sont utilisés pour les appareils de prothèse auditive, les lampes de poche, les rasoirs électriques, les instruments de mesure, les jouets à moteur électrique, les générateurs de flashes, les Dictaphones de poche, les récepteurs radiophoniques, les installations horlogères et signalisatrices, les appareils électroniques, les commandes électriques, le fonctionnement des petits moteurs pour diverses applications, les émetteurs et récepteurs pour commande à distance.

Les éléments cylindriques sont utilisés pour les rasoirs électriques, les brosses à dents électriques, les appareils portatifs de radio, les électrophones et les téléviseurs portatifs, les lampes pour l'horlogerie et la signalisation, les commandes électriques, les instruments de mesure, les outils électriques, les jouets.

Les éléments prismatiques sont utilisés pour les radio-récepteurs, électrophones et téléviseurs portatifs, les installations radiophoniques d'émission et de réception, les instruments de mesure, les appareils générateurs de flashes, les commandes électriques, les Dictaphones, les installations de signaux d'alarme lumineux, et, en courant de secours, les installations de signalisation et avertissement de petite puissance.

Toute une série de batteries de piles sèches peuvent être remplacées par des éléments ou batteries au cadmium-nickel étanches, grâce à leurs dimensions extérieures identiques. Le *tableau* II donne quelques caractéristiques des accumulateurs cadmium-nickel.

▼ ***Tableau II : caractéristiques de quelques types d'accumulateurs cadmium-nickel.***

**Tableau II - Caractéristiques de quelques types d'accumulateurs cadmium-nickel**

**Éléments boutons à électrodes standard**

La capacité en 10 heures varie :

— de 10 mAh pour une masse de 0,8 g, dimensions { ⌀ = 7,65 mm ; h = 5,2 mm

— à 1 Ah pour une masse de 57 g, dimensions { ⌀ = 50,3 mm ; h = 10 mm

**Éléments cylindriques à électrodes frittées**

La capacité en 5/10 heures varie :

— de 100 mAh pour une masse de 7,3 g, dimensions { ⌀ = 15 mm ; h = 17 mm

— à 7 Ah pour une masse de 237 g, dimensions { ⌀ = 33,5 mm ; h = 94 mm

— et 10 Ah pour une masse de 400 g, dimensions { ⌀ = 42 mm ; h = 89 mm

**Éléments prismatiques de petite puissance**

La capacité en 10 heures varie :

— de 90 mAh pour une masse de 45 g, dimensions { L = 26 mm ; l = 15 mm ; h = 49 mm

— à 23 Ah pour une masse de 1 390 g, dimensions { L = 91 mm ; l = 51 mm ; h = 125 mm

**Éléments prismatiques de grande puissance**

Utilisés pour démarrage des moteurs thermiques, locomotives Diesel et locotracteurs, turbotrains, groupes électrogènes, alimentation des disjoncteurs, fourniture d'énergie de secours.

La puissance spécifique est très élevée : 400 W/kg et 1 100 W/dm³ à 20 °C.

La capacité en 10 heures varie :

— de 35 Ah à 320 Ah en bac acier ou bac plastique

**Éléments prismatiques pour engins de manutention**

La capacité en 5 heures varie :

— de 140 Ah à 1 000 Ah pour des masses de 8 à 40 kg



Brandt - Photo Bazaine Publicité

▲ *Place de l'équipement électroménager dans la cuisine moderne.*

# ÉLECTROMÉNAGER

## *Ustensiles et appareils de préparation des aliments*

### *Ustensiles de préparation des aliments*

La panoplie d'ustensiles à main (le fouet à main, le pilon, le hachoir « bercoir ») a été complétée à partir de 1860 par une série d'ustensiles mécaniques. Les premiers à apparaître sont les batteurs et les éplucheurs de pommes, qui seront suivis du hachoir à vis, des râpes mécaniques et, vers 1920, du moulin à légumes. Celui-ci se présentait sous la forme d'une casserole équipée d'un moulinet et dont le fond était percé de trous. Il fut tout de suite très bien accueilli.

Aujourd'hui, les ustensiles tels que le presse-agrumes à main, le hachoir mécanique, la râpe à main ou mécanique, le couteau-éplucheur, le moulin à légumes, le fouet à main restent toujours présents sur le marché. En effet, il s'agit d'instruments de cuisine peu coûteux, pratiquement inusables et aux performances d'usage très satisfaisantes. L'utilisation d'un moulin à légumes pour passer la soupe est sans danger, la préparation d'une purée à l'aide d'un presse-purée, d'un moulin à légumes ou d'un fouet évite d'obtenir une « purée-colle », et aucun moyen ne permet d'effectuer l'épluchage d'un kilo de pommes de terre plus rapidement qu'un couteau-éplucheur.

### *Appareils de préparation des aliments*

Au début des années 1950, l'introduction du moteur électrique a bouleversé le marché. Les nouveaux appareils sont alors apparus : la centrifugeuse, pour extraire le jus des légumes et des fruits, le mixer, pour obtenir les mélanges, le hachoir à couteau pour hacher la viande, le robot de cuisine combinant toutes ces fonctions grâce à ses multiples accessoires.

Ces appareils électriques ont permis de diminuer l'effort à fournir durant l'opération, mais leur usage est devenu de plus en plus complexe. Ils sont aussi plus coûteux que les ustensiles, leur bruit est souvent trop élevé, et la multitude de leurs accessoires en rend le rangement et le montage fastidieux. A titre d'exemple, si l'opération « passer la soupe » est réalisée non plus à l'aide d'un moulin à légumes mais d'un mixer bol, une série de précautions est à prendre, compte tenu de la vitesse de rotation du couteau (de l'ordre de 20 000 tours par minute).

Les appareils électriques n'ont donc pas pu remplacer les ustensiles, exactement comme le rasoir électrique n'a pas gagné la bataille contre la lame et le rasoir mécanique. De cet exemple nous pouvons déduire que l'introduction d'innovations techniques et technologiques n'améliore pas nécessairement la valeur d'usage du produit.

### *Battre et pétrir*

**Ustensiles et appareils :** le fouet à main, le batteur mécanique, le batteur électrique, le pétrisseur électrique.

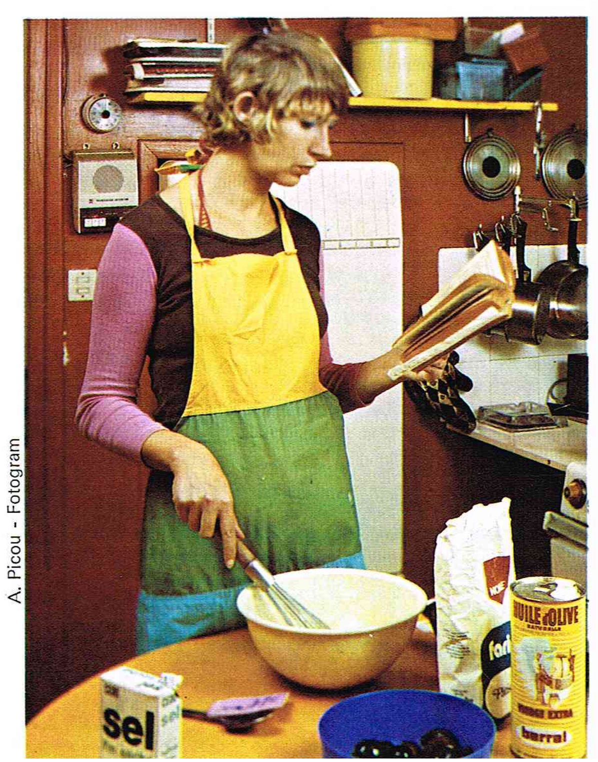
Au temps où la cuisson du pain se faisait au foyer, le pétrissage à la main était l'un des travaux domestiques les plus pénibles. Mais la tradition d'utiliser de la pâte levée pour le pain ou la pâtisserie se perd actuellement de plus en plus. D'autre part, la préparation des pâtes, telle la pâte feuilletée, brisée ou sablée, ne nécessite aucun appareil, puisque la pâte feuilletée se travaille exclusivement à la main et que la pâte brisée s'obtient plus facilement à la main qu'à l'aide d'un appareil.

En fait, on peut dire que le pétrissage est l'une des tâches culinaires où l'utilisation des appareils électriques n'est pas justifiée. Le pétrisseur électrique est donc rarement utilisé, et les spécialistes lui reprochent souvent une trop grande vitesse de rotation, néfaste au bon pétrissage.

Par ailleurs, l'utilisation de la pâte surgelée achetée dans le commerce a remplacé en grande partie sa préparation à la maison.

En revanche, lorsqu'il s'agit de battre les blancs en neige, l'utilisation de la fourchette, du fouet à main ou du batteur mécanique a généralement été délaissée au profit d'un batteur électrique. Les tout premiers batteurs mécaniques, datant du XIX[e] siècle, témoignent aussi bien du souci d'alléger le travail que de celui de mettre à profit les inventions mécaniques de l'époque (découplage de vitesse par des roues dentées de différentes dimensions).

Le batteur électrique introduit sur le marché vers les années 1950 est souvent équipé de plusieurs types de fouets. Il peut être soit tenu simplement dans la main, soit posé sur un socle équipé d'un bol servant de pétrin, souvent entraîné dans un mouvement rotatif pendant l'action des fouets. Pour monter une sauce, telle une mayonnaise, à l'aide d'ustensiles à main ou mécaniques, il est préférable d'utiliser un batteur électrique, et à plus forte raison un mixer bol qui simplifie l'opération et donne de meilleurs résultats.




A. Picou - Fotogram

Mais, à nouveau, c'est la sauce préparée industriellement et achetée dans le commerce qui se popularise de plus en plus.

### *Écraser les légumes*

**Ustensiles et appareils :** moulin à légumes, mixer bol, mixer plongeant.

Autrefois, le potage mijotait durant plusieurs heures sur un feu doux, et était consommé sans aucune préparation préalable. C'est seulement à partir des années 1920 qu'en France le potage aux légumes est passé au moulin. Celui-ci se présentait d'abord sous la forme d'une casserole percée de trous et dotée d'un moulinet, c'est plus tard qu'il a pris sa forme actuelle. Sa création est liée à la naissance de plusieurs entreprises, dont certaines ont pu, vers les années 1950, combiner un moteur électrique et des ustensiles, et développer ainsi la gamme du petit électroménager. Le succès du moulin à légumes est confirmé par sa longue présence sur le marché, après 60 ans d'existence.

Le mixer bol a en partie remplacé le moulin à légumes. Il est doté d'un moteur de faible puissance qui entraîne à grande vitesse le contenu situé au fond du bol (2 000 tours par minute). Il permet d'écraser plus finement les légumes et donne au potage un aspect de velouté. Mais son utilisation nécessite quelques précautions si l'on veut éviter les risques d'éclaboussures et les fausses manœuvres. De plus, il est très bruyant, son niveau sonore dépassant souvent 80 décibels. Les utilisateurs font également remarquer qu'un mixer bol ne peut pas remplacer complètement le moulin à légumes, parce qu'il ne permet pas de séparer les déchets (pépins, noyaux, peau).

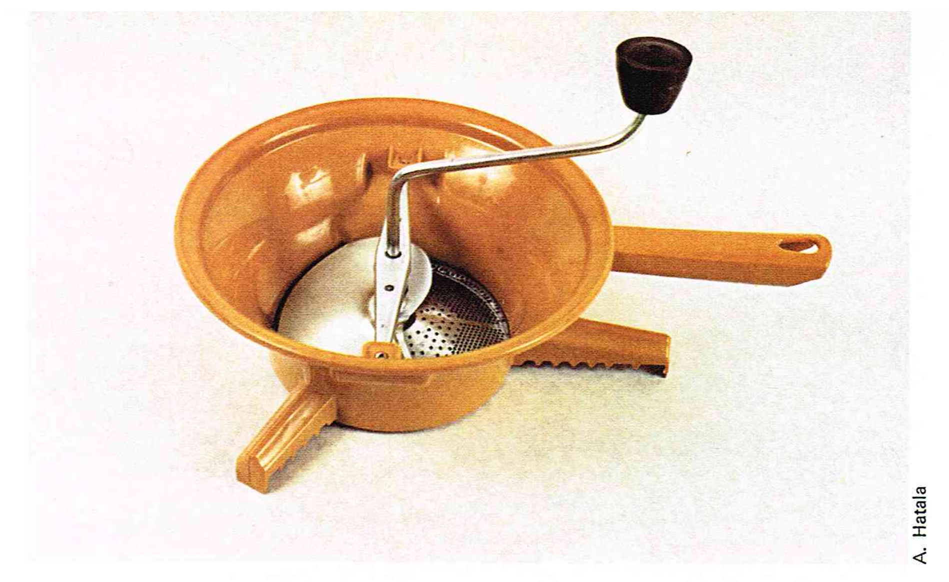
Le mixer plongeant est fondé sur le même principe, mais le couteau est fixé sur un pied et plongé dans un récipient indépendant. Il doit être utilisé avec les mêmes précautions, mais son nettoyage est plus rapide. Son emploi est cependant à déconseiller pour la préparation de la purée, car la vitesse de son couteau est trop élevée, ce qui alourdit le mélange.

### *Hacher*

**Ustensiles et appareils :** hachoir à main, hachoir mécanique, hachoir électrique.

Hacher la viande, les légumes et les herbes sont des opérations culinaires très courantes, et c'est le couteau de cuisine qui est le plus fréquemment utilisé, sauf pour la viande. Le hachoir à main, appelé aussi « bercoir », fait partie des rares ustensiles utilisés depuis des siècles, mais son utilisation exige une certaine habileté.

Actuellement, hacher la viande à la maison se fait de plus en plus rarement. En effet, la possibilité d'acheter la viande hachée a depuis une dizaine d'années pratiquement périmé l'utilisation d'un hachoir ménager, alors que celui-ci était indispensable pour la préparation de la charcuterie (saucisses, saucissons, tête pressée).


A. Hatala

▲ *Moulin à légumes.*

Le hachoir électrique a repris le principe de fonctionnement du hachoir mécanique (hachoir à vis); il est doté d'un entonnoir assez élevé et d'un poussoir afin d'éviter les fausses manœuvres. Il est généralement équipé de plusieurs grilles interchangeables qui définissent la finesse du hachage.

Apparu sur le marché depuis plusieurs années, le hachoir à couteau, tout comme le mixer bol, est équipé d'un couteau tranchant, mais sa mise en marche est seulement commandée par le couvercle qui assure la sécurité de son utilisation.

Utilisé uniquement pour les petites quantités, c'est un appareil très bruyant, et la qualité du résultat obtenu est inférieure à celle que donne le hachoir à vis. En effet, la viande est broyée, et la finesse du hachage dépend de la durée de fonctionnement.

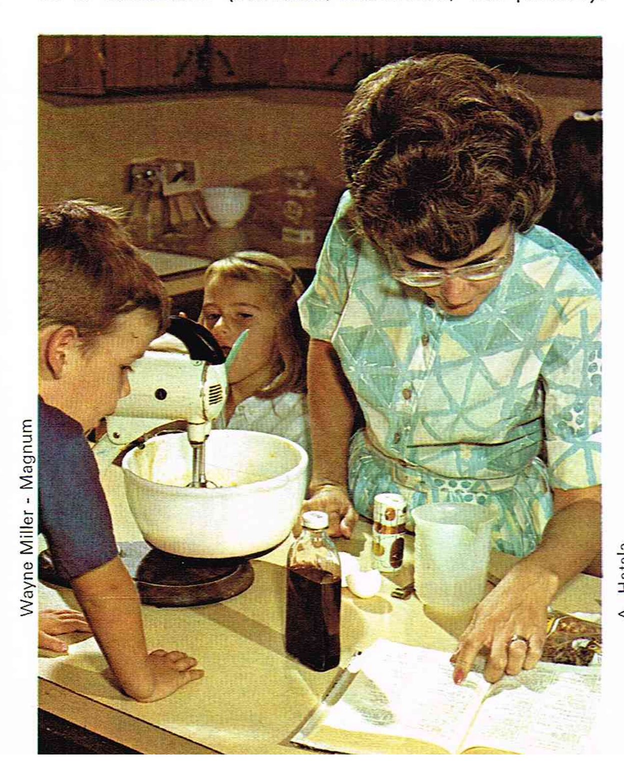
### *Râper*

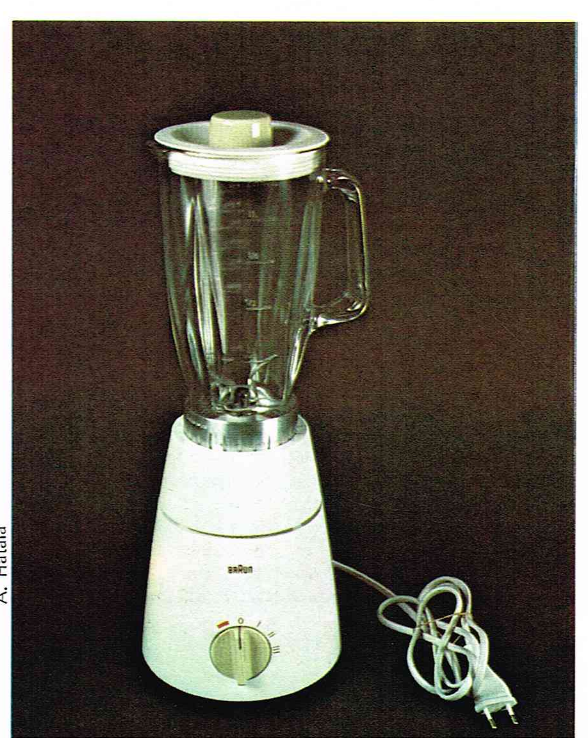
**Ustensiles et appareils :** râpe à main, râpe mécanique, râpe électrique.

Bien que l'on puisse se procurer du fromage déjà râpé, râper le fromage ou émincer les légumes pour préparer un plat de crudités font toujours partie des opérations culinaires. La râpe à main, un des ustensiles de cuisine les plus anciens, se présente sous différentes formes : râpe à fromage, éminceur-râpe, râpe à fromage et légumes, qui donnent des résultats satisfaisants pour la préparation de petites quantités de légumes ou de fromage.

La râpe mécanique, d'un emploi plus facile, permet la préparation de quantités plus importantes, et elle comporte des disques ou des tambours-râpes interchangeables suivant le besoin.

La râpe électrique est l'un des accessoires du hachoir électrique ou d'un appareil multifonctionnel. Le résultat obtenu est très proche de celui que donne une râpe à main ou mécanique. Son emploi se justifie seulement pour des quantités importantes de légumes ou de fromage.


Wayne Miller - Magnum



A. Hatala

◀ *Le batteur à main a souvent été délaissé au profit du batteur électrique (photos de gauche). A droite, mixer bol électrique.*




▲ *Machine à éplucher les pommes de terre (1924).*

### *Extraire le jus*

L'habitude de consommer des jus de fruits et de légumes est très récente. Les **ustensiles et appareils** destinés à cet usage se divisent en deux groupes : les presse-agrumes (pour les agrumes) et les centrifugeuses (exclusivement réservées aux fruits). A noter cependant que, sur le plan nutritionnel, il est préférable de consommer les fruits entiers ; ceux-ci contiennent en effet la cellulose, un des éléments importants pour la digestion, alors que la préparation des jus consiste justement à séparer le jus de la cellulose.

### *Éplucher*

C'est au début des années 1950 que l'éplucheur électrique a fait son apparition. Son emploi ne permet de diminuer la durée de l'opération qu'à partir d'une certaine quantité d'aliments à éplucher, c'est-à-dire environ 3 kg. Il est donc relativement encombrant, d'un prix d'achat élevé et n'apporte aucun gain de temps lorsqu'il s'agit des quantités utilisées généralement par une famille. Cela explique probablement sa disparition quasi totale aujourd'hui.

▼ *Tableau I : appareils de cuisson et types de flux d'énergie.*

**Tableau I**
**Appareils de cuisson et types de flux d'énergie**

| Flux d'énergie | Types de cuisson | Appareils de cuisson |
|---|---|---|
| Cuisson par conduction et convection | Cuisson dans un liquide - friture | Foyer de cuisson (plaques électriques, brûleurs à gaz, etc.) |
| | Cuisson dans une enceinte fermée | Four |
| Cuisson par rayonnement | Grillade ou rôtissage par rayonnement | Rôtissoire |
| | Réchauffage par rayonnement | Four à micro-ondes |
| Cuisson par conduction seule | Grillade par contact | Grill |

## *La cuisson des aliments*

### *Principes physiques*

Le processus de la cuisson est la transformation des caractéristiques d'un aliment sous l'effet d'un flux d'énergie, se traduisant par l'augmentation de la température de l'aliment au-delà de la température ambiante. La transmission du flux d'énergie nécessaire pour la cuisson peut être réalisée selon trois principes : la *conduction*, la *convection* ou le *rayonnement*.

Les échanges par **conduction** — échanges entre deux milieux mis en contact et immobiles — sont utilisés lors de la cuisson par contact, pour une grillade par exemple, la plaque de fonte transmettant la chaleur par conduction à la surface de la viande en contact avec celle-ci.

Les échanges par **convection** — échanges entre un corps et un fluide en mouvement — se caractérisent d'abord par la nature du fluide : l'air est utilisé pour la cuisson au four ou à la vapeur ; l'eau et l'huile sont utilisées pour la cuisson dans un liquide, pour la friture.

— Les échanges par *convection naturelle* sont liés au réchauffement de l'aliment par le fluide sans mouvement forcé, par exemple lors de la cuisson dans une casserole ou dans un four classique.

— Les échanges par *convection forcée* sont liés au réchauffement de l'aliment par le fluide dans un mouvement forcé, par exemple lors de la cuisson dans un four à chaleur tournante où l'action d'une turbine augmente la vitesse de l'air.

Les échanges par **rayonnement** — échanges électromagnétiques sans support matériel — se caractérisent par la transmission de la chaleur par des rayons émanant d'un corps chaud et analogues aux rayons lumineux.

La cuisson par rayonnement est utilisée, par exemple, dans le cas d'une rôtissoire où un rayonnement infrarouge émis par la résistance atteint directement la denrée exposée.

La cuisson par rayonnement est également utilisée dans le cas d'un four à micro-ondes, mais les ondes électromagnétiques utilisées sont de très haute fréquence (2 450 MHz).

Ces trois types de transmissions de flux d'énergie sont souvent combinés ; un four est en général équipé d'un élément chauffant pour effectuer en plus des cuissons par convection des cuissons par rayonnement ; une rôtissoire est très souvent équipée d'une porte amovible pour pouvoir être utilisée comme un four. Toutefois, malgré l'utilisation de plusieurs types de flux d'énergie dans un même appareil de cuisson, il est possible de les résumer (voir *tabl.* I).

## *Appareils de cuisson*

### *Foyer de cuisson*

Différentes sources d'énergie peuvent alimenter le foyer de cuisson : les combustibles solides, le gaz, l'électricité ou l'énergie solaire.

Depuis la maîtrise du feu par l'homme, le bois et plus tard le charbon sont utilisés pour la cuisson des aliments, tout d'abord pour le rôtissage et la grillade des viandes ; ensuite, avec l'apparition de la poterie, un vrai foyer de cuisson a pu être constitué pour la cuisson dans un liquide, la friture.

#### Cuisinières à combustibles solides

La cuisinière à combustibles solides était jusqu'à une période très récente construite en général en briques ou en pierres en même temps que la maison ; elle était équipée d'une plaque en fonte et éventuellement d'un four.

A l'âge des métaux, les récipients en poterie ont été remplacés par des récipients en fonte, en cuivre ou en plomb, et ils seront d'abord suspendus au-dessus du feu avant d'être plus tard posés sur la plaque qui délimite et enferme la source de chaleur (vers 1830).

A côté de Benjamin Franklin qui, en 1742, conçut la « Cheminée de Pennsylvanie », Siegfried Giedon cite

deux grands novateurs qui contribuèrent très largement à l'amélioration des appareils de cuisson à combustibles solides.

Le premier est Benjamin Thompson, comte de Rumfad (1753-1814), qui, officier tantôt dans l'armée britannique, tantôt dans l'armée bavaroise dont il devint le général en chef, fut également un important physicien de la fin du XIXe siècle. Ayant fondé un hospice à Munich, il fut amené à y construire pour la cuisine un four à chauffe indirecte dans lequel la fumée et la chaleur empruntaient un réseau de carneaux disposés autour des casseroles encastrées sur le fourneau. Il conçut également, pour des académies militaires et des hôpitaux, de vastes fourneaux dont le dispositif semi-circulaire évitait au cuisinier de se déplacer devant ses casseroles et ses marmites.

Par ailleurs, et partant du principe que la source de chaleur devait être enclose dans un minimum d'espace, il conçut de petits fours en fonte et aussi un fourneau portatif pour la cuisine. Celui-ci était équipé d'un système de casseroles encastrées dans le fourneau, et autour de celles-ci circulaient les gaz de combustion provenant d'un foyer conique suspendu. Un tel système, qui emprisonne la chaleur et qui favorise la circulation de l'air, fait penser aux cuisinières de notre époque.

Également de Rumfad, on peut citer un four à rôtir de forme cylindrique, en tôle, encastré dans la maçonnerie de brique qui contient aussi le foyer dont la flamme vient lécher la partie inférieure du four.

Rumfad a particulièrement insisté sur la nécessité de concentrer la chaleur autour des récipients de cuisson. Dans ce dessein, il proposa d'utiliser des rondelles de dimension intérieure variable permettant une meilleure adaptation aux différents récipients.

Les travaux de Philo Penfield Stewart (1798-1868) contribuèrent également à l'amélioration des appareils de cuisson. Missionnaire et professeur, il fut amené, dans le cadre de son enseignement à Oberlin College, à faire breveter un fourneau qu'il appela Oberlin. La vente de ce fourneau devait en effet permettre aux élèves de l'école de subvenir à leurs besoins. Il améliora par la suite le modèle et parvint à mettre au point un appareil qui s'inspire sans doute de celui de Rumfad en ce sens qu'il utilise également un foyer suspendu dans lequel on brûle du bois, mais dont l'efficacité est telle qu'il préfigure véritablement la cuisinière moderne.

La cuisinière à combustibles solides (bois ou charbon) fabriquée en fonte et éventuellement recouverte de plaques émaillées n'a commencé à se développer qu'au XIXe siècle (de 1830 à 1880), pendant la période qui fut marquée par le développement du fer forgé et de la fonderie. De nos jours, elle est encore utilisée à la campagne, aussi bien pour chauffer les pièces que pour la cuisson et éventuellement aussi pour chauffer l'eau. La vente de ce type de cuisinière est actuellement en progression.

● *Principe de fonctionnement*

En brûlant, le bois ou le charbon transmet de la chaleur qui est emmagasinée par la plaque de fonte (le foyer de cuisson) et par la paroi mitoyenne du four. La chaleur accumulée par la plaque de fonte est ensuite transmise aux récipients, et elle est surtout intéressante pour la préparation des plats mijotés où la cuisson est relativement longue, constante et à faible température (environ 90 °C). La chaleur accumulée par la paroi mitoyenne du four ainsi que la circulation de l'air chaud autour de l'enceinte du four permettent d'obtenir dans celle-ci des températures aux environs de 200 °C, suffisantes pour la préparation de rôtis ou de pâtisseries.

## Brûleurs à gaz

Le gaz a d'abord été utilisé pour le chauffage (vers 1850), et c'est seulement entre 1880 et 1930 que son utilisation pour la cuisson s'est généralisée ; il fallait surmonter la réticence du public envers cette nouvelle utilisation du gaz comme source de chaleur pour la cuisson. Entre 1910 et 1930, apparaissent les premiers modèles courants, dont les formes sont influencées par le style de l'époque.

Les foyers de cuisson à gaz sont caractérisés par leur principe de fonctionnement, leur taille, leur puissance, leur principe d'allumage et leur système de sécurité.

● *Principe de fonctionnement*

Le foyer de cuisson à gaz (brûleur) est l'ensemble du dispositif destiné à réaliser le mélange du gaz et de l'air et à servir de support à la flamme. Il est réalisé soit en fonte émaillée, soit en un alliage métallique.

Le gaz traverse d'abord l'injecteur dont la section est proportionnelle à la puissance du brûleur et à la nature du gaz. Ensuite, sous l'effet de sa vitesse, il entraîne l'air dans le mélangeur qui comporte une bague de réglage de l'admission de l'air. Le mélange air-gaz passe ensuite dans la tête du brûleur et s'échappe par une série d'orifices.

L'injecteur des appareils permettant l'utilisation de tout gaz (gaz de ville, propane) doit être réglé ou échangé en fonction de la nature de celui-ci. Le réglage de l'admission de l'air doit aussi correspondre à la nature de ce gaz.

Récemment introduits sur le marché, les brûleurs à flammes autostabilisées ou les brûleurs à flammes « pilotes » sont conçus pour avoir des flammes stables, quel que soit le débit du gaz utilisé (*fig.* 1).

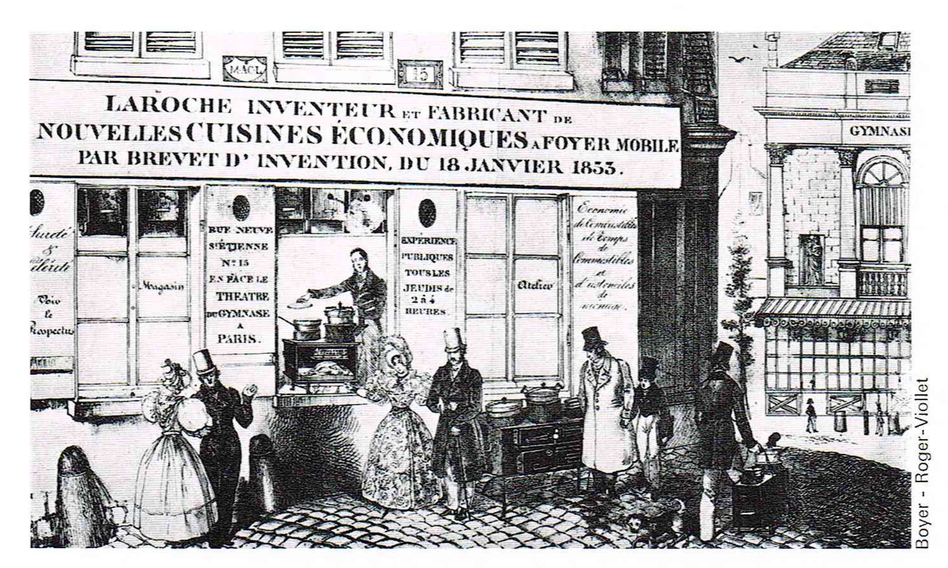
● *Puissance des brûleurs à gaz*

Les brûleurs à gaz sont classés en fonction de leur puissance nominale, c'est-à-dire en fonction de la quantité de chaleur fournie en une heure au débit maximal (mesuré en millithermies/heure ; 1 millithermie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 °C la température de 1 l d'eau à 15 °C sous la pression atmosphérique normale, 1 th = 1,163 kW ; 1 mth = 1,163 W. Depuis janvier 1978, les mesures sont effectuées en W et remplacent les mesures en mth) [*tableau* II].

A titre d'exemple, un brûleur rapide de 3 000 mth (ou 3 500 W)/h dégage 50 mth/mn. Il fournit donc en 2 minutes la chaleur nécessaire pour porter 1 l d'eau de 20 °C à ébullition. A cause des pertes de chaleur (chaleur absorbée par le récipient et chaleur entraînée par l'air et les produits de la combustion), il faudra en réalité plus de temps (environ 3 minutes).

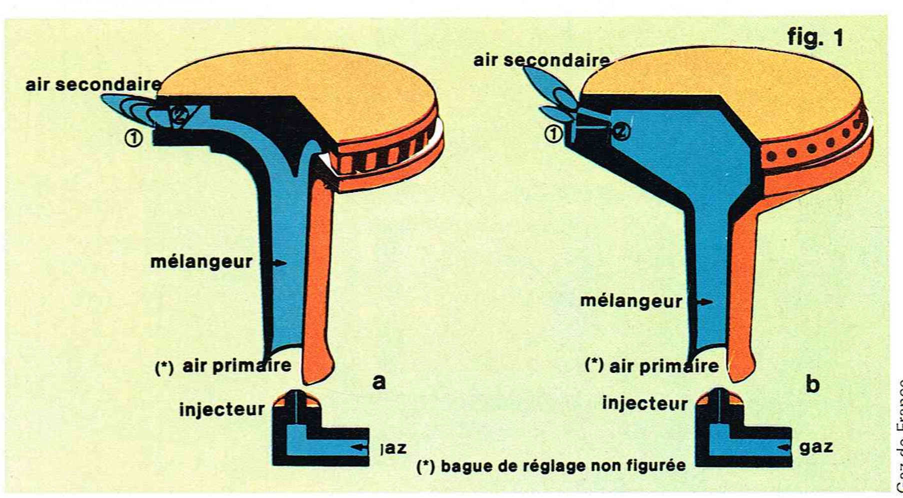
● *Allumage incorporé à l'appareil*

L'allumage électrique ou piézo-électrique incorporé permet d'allumer le brûleur sans avoir à utiliser un système d'allumage extérieur à l'appareil (allume-gaz,




Boyer - Roger-Viollet

▲ ***Cuisinières à foyer mobile (gravure de 1823, Bibliothèque nationale).***




Gaz de France

▼ ***Figure 1 : récemment introduits sur le marché, les brûleurs à flamme stabilisée*** (a) ***ou les brûleurs à flamme « pilote »*** (b) ***sont conçus pour avoir des flammes stables quel que soit le débit du gaz (document*** **Gaz de France, La cuisinière à gaz*****).***

| Tableau II<br>Puissance et diamètre des brûleurs à gaz | | |
|---|---|---|
| **Brûleur** | **Puissance (en W)** | **Diamètre (en mm)** |
| Auxiliaire | < 1100 | 40 |
| Semi-rapide | 1100-2200 | 40-50 |
| Rapide | 2200-3400 | 50-75 |
| Ultra-rapide | > 3400 | 80 et plus |

▲ *Tableau II : puissance et diamètre des brûleurs à gaz.*

▼ *Figure 2 : allumage incorporé à l'appareil (voir développement dans le texte)* [document Gaz de France, La cuisinière à gaz]. *Tableau III : puissance et diamètre des foyers électriques.*

allumettes). Chaque brûleur de la table de travail (du four et du grilloir) est équipé d'un dispositif d'allumage.

Les dispositifs d'allumage fonctionnent suivant différents principes (*fig.* 2).

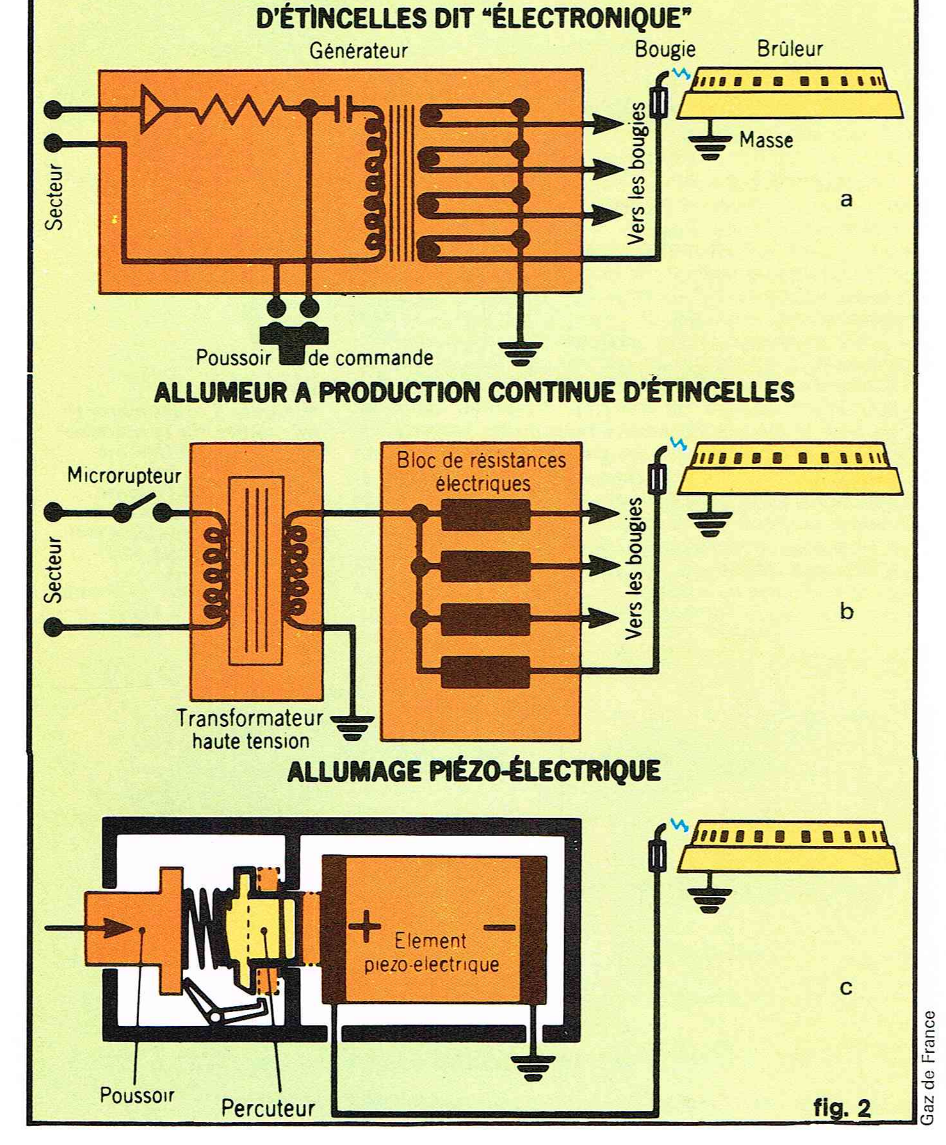
* *Allumeur à production discontinue d'étincelles.* Chaque brûleur est équipé d'une bougie d'allumage (comparable aux bougies utilisées dans les moteurs de voiture), d'une commande d'allumage et d'un générateur d'étincelles (*fig.* 2a).

* *Allumeur à production continue d'étincelles.* Chaque brûleur est équipé d'une bougie d'allumage reliée par l'intermédiaire de résistances à un transformateur à haute tension (6 000 V). Un train d'étincelles se produit entre chaque bougie et la masse du brûleur si le contact est établi par un microrupteur (*fig.* 2b).

* *Allumage piézo-électrique.* Ce système fonctionne sans raccordement électrique ni piles : les charges électriques sont produites sur les faces de certains cristaux quand ils subissent un choc (piézo-électricité). Le choc sur un cristal, élément de forme cylindrique en quartz dont le diamètre est d'environ 15 mm, engendre un courant électrique qui provoque une étincelle entre la bougie et la masse métallique du brûleur (*fig.* 2c).

● *Dispositif de sécurité par le thermocouple*

Ce dispositif de sécurité peut exister sur les brûleurs de la table de cuisson, mais est plus généralisé sur ceux du four et du grilloir. Il permet, si pour une raison quelconque le brûleur vient à s'éteindre (à cause d'un courant d'air par exemple), d'arrêter le passage du gaz. Il fonctionne à l'aide d'un électro-aimant qui, alimenté par un courant sous faible tension (produit par le thermocouple), maintient le passage libre du gaz ; si l'électro-aimant n'est plus alimenté (le brûleur vient à s'éteindre, et le thermocouple n'est plus chauffé), il se sépare du clapet qui ferme le débit du gaz (*fig.* 3).




### Foyer de cuisson électrique

Entre 1890 et 1910, des études expérimentales ont été faites en Angleterre à propos de l'utilisation de l'électricité pour les cuisinières. Mais l'introduction du gaz occupe le marché, et les cuisinières électriques n'apparaissent que vers 1930. La cuisson à l'électricité connaît un développement très lent en France ; par contre, en Allemagne, elle a pratiquement remplacé la cuisson au gaz.

Les foyers de cuisson électriques sont caractérisés par leur principe de construction, leur taille, leur puissance et leur principe de réglage.

### Principe de construction

Les premiers foyers électriques étaient des foyers constitués par des tubes à l'intérieur desquels la résistance est noyée dans du ciment isolant. Le flux de chaleur est transmis par rayonnement.

Presque tous les foyers électriques fabriqués actuellement consistent en une plaque en fonte qui recouvre et enferme les résistances posées sur un ciment réfractaire.

La plaque vitrocéramique, récemment apparue (vers 1970), utilise un matériau vitro-cristallin obtenu par le traitement thermique d'un verre spécial. Le vitro-cristallin est indilatable et peut subir sans se modifier un écart de température allant de 0 °C à 700 °C.

Actuellement, la plaque à induction est encore à l'état d'essai, mais elle devrait être prochainement commercialisée. Ce principe permet de chauffer directement le fond du récipient sans chauffer la plaque de cuisson et, de ce fait, de diminuer la consommation d'énergie et la durée de préchauffage.

● *Diamètre et puissance des foyers électriques*

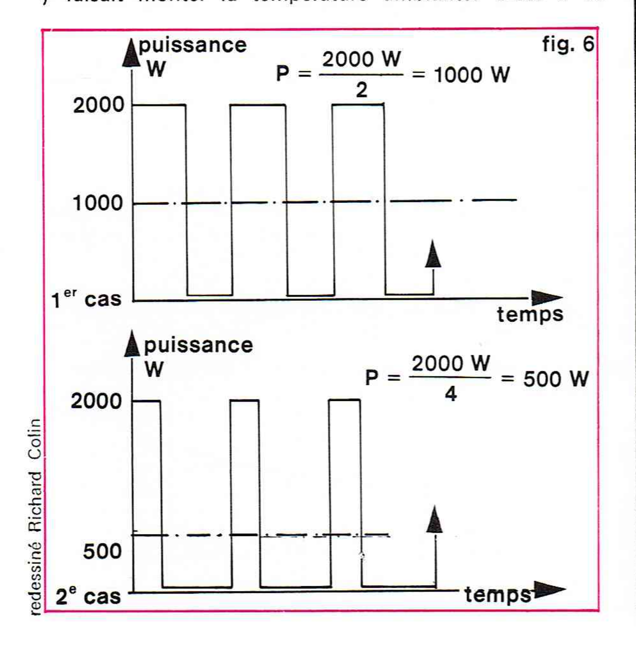
Les dimensions des plaques sont normalisées en fonction des récipients ; 4 tailles existent actuellement : de 115 mm, de 145 mm, de 180 mm, de 220 mm. A chaque dimension de la plaque correspondent, selon le type de réglage et le type de plaque (normale ou « rapide », signalé par un point rouge au milieu de la plaque), des puissances indiquées au *tableau* III.

| Tableau III<br>Puissance et diamètre des foyers électriques | |
|---|---|
| **Puissance (en W)** | **Diamètre (en mm)** |
| 500-1 000 | 115 |
| 1 000-1 500 | 145 |
| 1 000-2 500 | 160 ou 180 |
| 1 800-2 600 | 200 ou 220 |

● *Réglage du foyer de cuisson électrique*
Différents principes techniques sont utilisés pour régler l'allure de chauffe des foyers de cuisson. Ils peuvent être regroupés en deux catégories : le dispositif de réglage *linéaire* et le dispositif de réglage *en boucle* (feedback).
Dans le premier cas, une quantité d'énergie est envoyée régulièrement sans qu'un dispositif contrôle l'effet produit par cette quantité d'énergie. Il est impossible de stabiliser la température du récipient sans interventions successives. Le dispositif du réglage linéaire est réalisé soit par le réglage de puissance, soit par le réglage de la chaleur moyenne.
Dans le deuxième cas, la quantité d'énergie fournie est contrôlée par un dispositif de régulation (thermostat) qui capte la température du fond du récipient, la compare avec la température voulue ($t° = x°$) et réagit en fonction de l'écart par l'arrêt ou la mise en marche du flux d'énergie (*fig.* 4).
* *Réglage de la puissance.* Le mode le plus fréquent consiste à utiliser plusieurs résistances qui permettent d'obtenir six valeurs différentes de la puissance : allure forte, quatre allures intermédiaires, allure douce (*fig.* 5).
* *Réglage de la chaleur moyenne.* La puissance de la plaque reste toujours au maximum, et c'est la variation de la durée de passage du courant qui fait varier la chaleur moyenne émise. Exemple : une plaque d'une puissance de 2 600 W mise sous tension 15 secondes, puis hors tension 45 secondes et ainsi de suite, produit seulement un quart de sa puissance maximale, c'est-à-dire 850 W/h. Si cette même plaque est au contraire mise 45 secondes sous tension et 15 secondes hors tension et ainsi de suite, elle produit les trois quarts de sa puissance maximale, c'est-à-dire 1 750 W (*fig.* 6).
* *Réglage de la température.* Le réglage thermostatique a pour objet de maintenir à une température donnée le foyer de cuisson en fonction de la température du fond du récipient, mesurée à l'aide d'un palpeur avec lequel il est mis en contact. La gamme des différentes allures de chauffe est en général composée de 12 positions correspondant à 12 paliers de température allant de 50 à 200 °C.

## *Le four*

Le four — une enceinte fermée — existait déjà à la période préhistorique, probablement à la période néolithique, et était essentiellement utilisé pour la cuisson du pain.
Dans le Vaucluse, les villages appelés Bories, et habités encore au XVIIIe siècle par les agriculteurs bergers, ont laissé une image assez exacte des premiers fours, c'est-à-dire une enceinte fermée en forme de pyramide, bâtie en pierres plates superposées, avec une ouverture pour la fumée. Elle était fortement chauffée au bois ; l'ouverture était ensuite fermée à l'aide d'une pierre plate, et la chaleur dégagée par les braises à l'intérieur de l'enceinte y faisait monter la température ambiante. C'est à ce

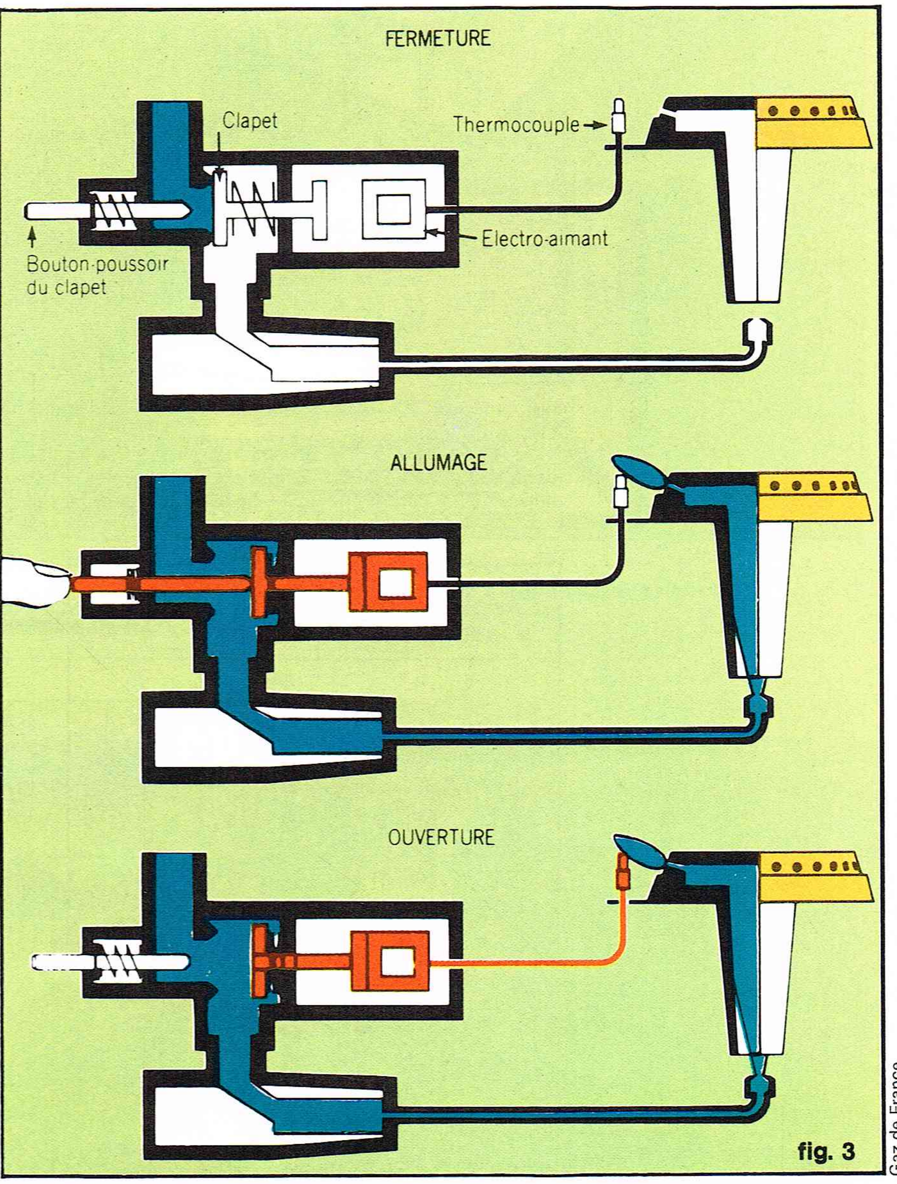






▲ ***Cuisine électrique dans une armoire, meuble ouvert (1925).***

▼ ***Figure 3 : dispositif de sécurité par le thermocouple (document* Gaz de France, La cuisinière à gaz*).***
***Figure 6 : principe du régulateur d'énergie (réglage de la chaleur moyenne) [d'après document* Sodel, La cuisine à l'électricité*].***



▶ *Figure 4 : schéma de principe d'un foyer à réglage thermostatique dit « à palpeur » (document* Sodel, La cuisine à l'électricité*).*

fig. 4

## SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN FOYER A RÉGLAGE THERMOSTATIQUE DIT «A PALPEUR»

*capot + bulbe = palpeur*

*résistances chauffantes*

*circuit 1000 W*

*circuit 1000 W*

*capillaire*

*contact simple*

*contact inverseur*

*interrupteur du foyer*

*basculeur*

*vis de réglage*

*manette de commande*

*membrane déformable*

*chambre à membrane*

*secteur*

*1. Le foyer froid mis sous tension est chauffé par les 2 résistances de 2000 W.*

*2. La montée rapide en température est achevée, le basculeur a ouvert l'un des contacts. Il ne reste que 1000 W.*

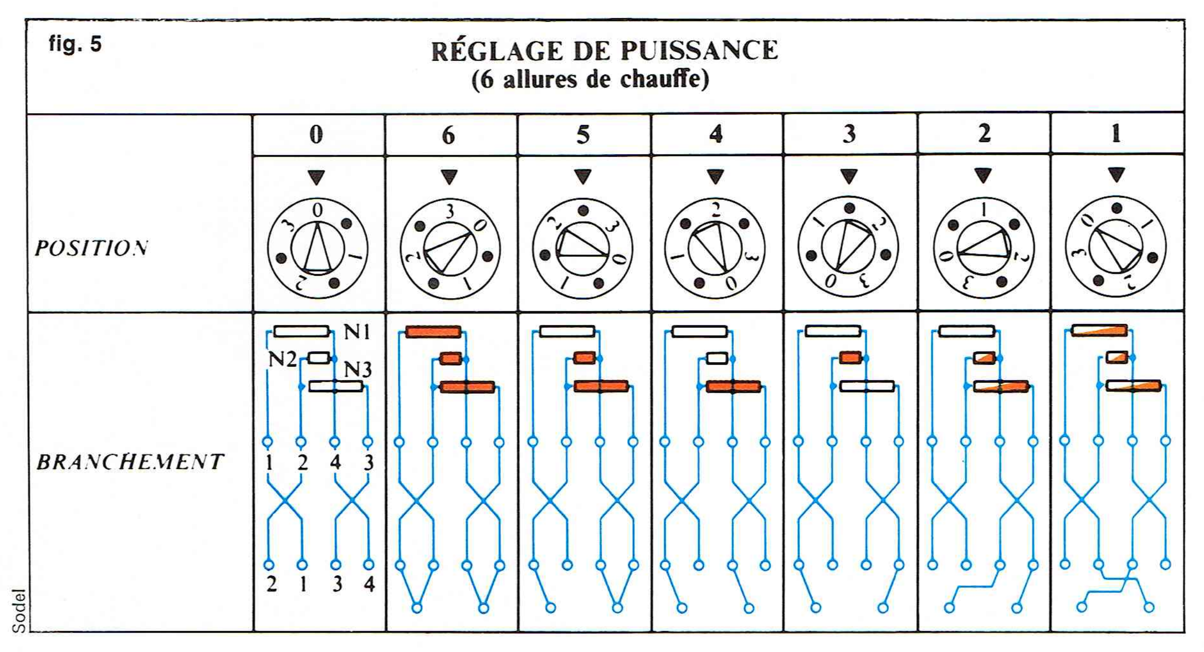
*3. La température correspondant au réglage est atteinte. Le basculeur a ouvert les 2 contacts.*

Sodel

moment que les braises étaient écartées et que l'on enfournait le pain.

Ce type de four à pain est resté d'utilisation domestique jusqu'à la généralisation du métier de boulanger. Chaque maison à la campagne avait son four à pain. Celui-ci a pratiquement disparu aujourd'hui et a été remplacé par un four moins volumineux, utilisé non plus pour la cuisson du pain, mais bien pour la cuisson de la pâtisserie, des viandes, des gratins...

C'est à Benjamin Franklin, vers le milieu du XVIIIᵉ siècle, que revient l'idée de concevoir un four à disposer dans le foyer de la cheminée.




▶ *Figure 5 : réglage de puissance (6 allures de chauffe) [document* Sodel, La cuisine à l'électricité].

## Le four à gaz

Les premiers modèles courants des fours de cuisinières à gaz furent équipés d'un thermostat à partir de 1915. Ce thermostat (découvert depuis 1850) permet de régulariser la température suivant l'opération culinaire à réaliser.

Les fours à gaz sont caractérisés par leur principe de fonctionnement, leur taille, leur principe d'allumage, le système de sécurité et le nettoyage.

- *Principe de fonctionnement*

★ *Fours à convection naturelle*. L'enceinte est chauffée soit directement par les gaz chauds qui proviennent du brûleur (four à circulation directe), soit indirectement par l'air chauffé par les parois, les combustibles circulant à l'intérieur d'une double enceinte (four à circulation indirecte), ou encore par les deux (*fig*. 7a et 7b).

★ *Fours à convection forcée* (utilisés uniquement dans les collectivités). Le réchauffement des denrées à cuire est effectué par les combustibles dans un mouvement renforcé par une turbine. Les températures nécessaires pour les différentes cuissons sont légèrement plus basses, et la chaleur est uniformément répartie dans l'enceinte (*fig*. 7c).

La turbine est placée dans le fond du four, les combustibles sont aspirés par son centre et circulent dans l'enceinte en cédant leur chaleur aux aliments que l'on a mis à cuire. Le four à convection forcée utilisé dans la restauration collective (cuisson sur plusieurs niveaux) est apparu sur le marché seulement en 1972.

★ *Le grilloir*. Le four à gaz est équipé en général d'un grilloir placé sous la voûte pour réaliser les cuissons par rayonnement. Le grilloir est utilisé aussi bien pour les grillades que pour les cuissons à la broche. Les cuissons par rayonnement se font généralement la porte du four ouverte.

- *La taille du four*

La taille du four à gaz se situe entre 30 et 80 dm$^3$. La consommation d'énergie est proportionnelle aux dimensions du four, pour une même cuisson.

- *Principe d'allumage et système de sécurité*

Le principe d'allumage (électro- ou piézo-électrique) et le système de sécurité d'un four sont identiques aux brûleurs (voir chapitre *Brûleurs à gaz*).

- *Le nettoyage*

La cuisson des viandes à hautes températures (rôtissage entre 250 et 300 °C) peut être accompagnée de la projection des graisses sur les parois de l'enceinte. Le nettoyage manuel des parois du four est souvent malaisé.

★ *Le nettoyage par catalyse*. Ce procédé a été introduit en France en 1968. Les parois du four sont revêtues de plaques en émail mat et poreux contenant du carbonate de tungstène qui oxyde les éclats de graisse se produisant pendant la cuisson. Après refroidissement du four et en cas de projections importantes, il est nécessaire d'utiliser une éponge, mais sans produits abrasifs. Le changement des parois (les plaques sont amovibles) est nécessaire tous les cinq ans à peu près.

## Le four à l'électricité

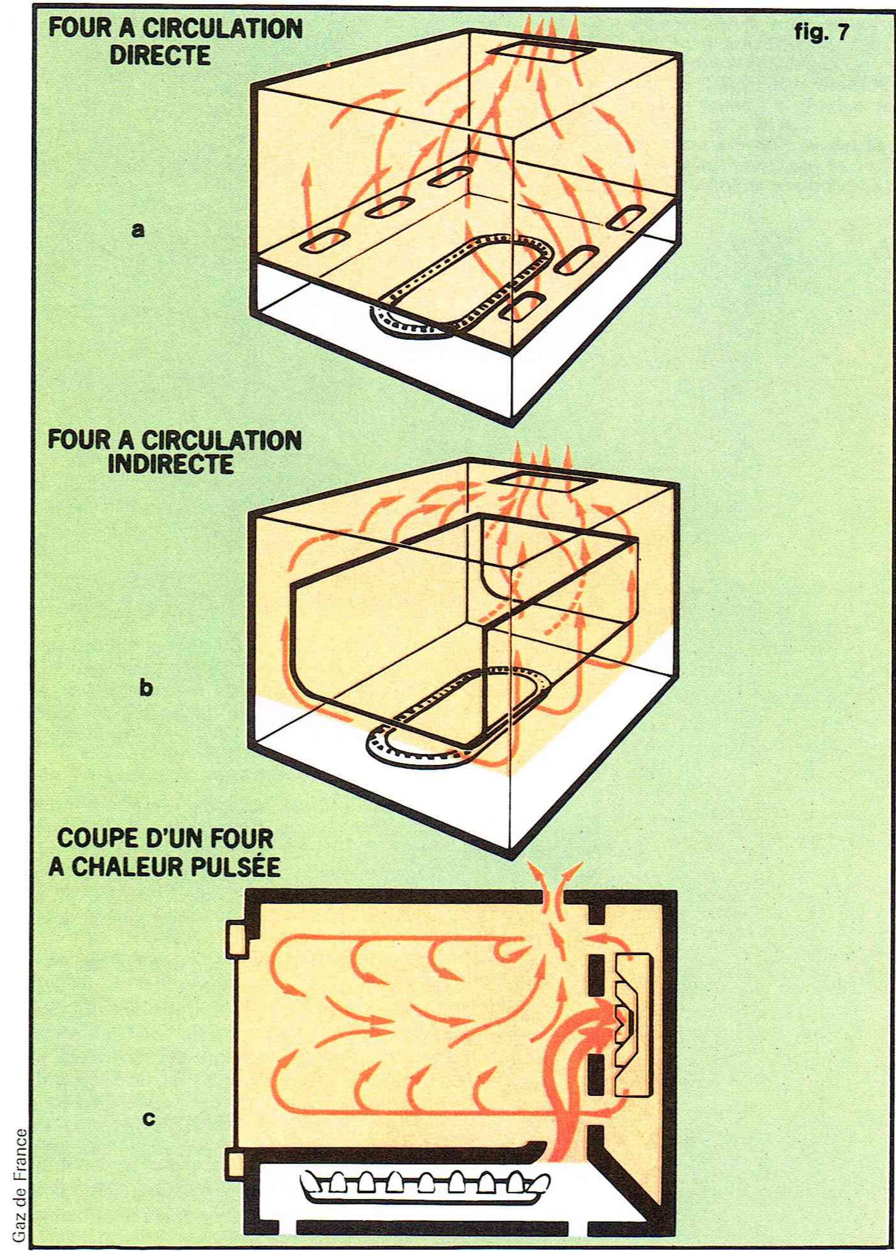
Les premières démonstrations de la cuisson à l'électricité ont été entreprises vers 1890 en Angleterre, mais c'est seulement aux environs de 1930 que la cuisinière à l'électricité s'est largement répandue.

Les fours à l'électricité sont caractérisés par leur principe de fonctionnement, leur taille et le mode de nettoyage.

- *Principe de fonctionnement*

★ *Fours à convection naturelle*. Le chauffage de l'enceinte du four est réalisé par un élément chauffant situé dans la partie inférieure (la sole), et généralement dissimulé par une plaque en tôle émaillée (afin de ne pas dégager de chaleur par rayonnement, mais seulement par convection). La quantité d'énergie émise par l'élément de la sole est contrôlée par un thermostat qui assure la cuisson des aliments de 80 à 250 ou 300 °C (*fig*. 8).

★ *Fours à convection forcée*. Comme dans le cas du four à gaz, la turbine située au fond de l'enceinte accélère la vitesse de l'air chaud afin d'augmenter les échanges thermiques entre les aliments à cuire et l'air chaud. Les températures nécessaires pour les cuissons sont légèrement plus basses (diminution des éclats de graisse). La chaleur est uniformément répartie, ce qui facilite la cuisson sur plusieurs niveaux en même temps (*fig*. 9).

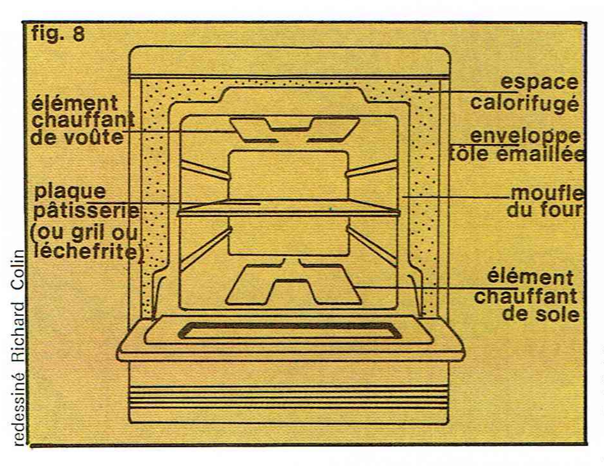



▲ *Figure 7*a *et* b *: fours à convection naturelle :* a, *à circulation directe ;* b, *à circulation indirecte ;* c, *four à convection forcée (document* Gaz de France, La cuisinière à gaz*).*

▼ *Maison à cuisine électrique Knap (1909).*



▶ *Figure 8 : représentation schématique d'un four électrique à convection naturelle (d'après* document Sodel, La cuisine à l'électricité*). A droite, le four se place à bonne hauteur et se nettoie facilement par procédé automatique.*







* *Le grilloir.* Les fours à convection naturelle et éventuellement les fours à convection forcée sont équipés d'un deuxième élément chauffant situé à la voûte. Cet élément de voûte qui transmet la chaleur par rayonnement sert essentiellement à griller, rôtir à la broche et dorer, il n'est pas contrôlé par un thermostat, et la cuisson s'effectue dans une enceinte ouverte.

● *La taille du four*

La taille du four varie entre 40 et 80 dm$^3$ et est proportionnelle à la quantité d'énergie nécessaire pour élever la température. L'apparition du procédé de nettoyage par pyrolyse a changé la conception de l'enceinte du four ; elle devient très bien calorifugée, et le préchauffement est rapide (moins de 10 minutes).

● *Le nettoyage*

Le four à convection naturelle équipé d'un grilloir, mais non d'un procédé de nettoyage (à pyrolyse ou catalyse), est en constante diminution sur le marché depuis l'apparition du procédé à catalyse (1968) et à pyrolyse (1969). Par contre, le four à convection forcée n'est généralement pas doté d'un procédé de nettoyage, étant moins salissant.

Le procédé à *catalyse* est le même que dans le cas d'un four à gaz (voir *Nettoyage du four à gaz*).

Le procédé à *pyrolyse* consiste à détruire les graisses et autres projections à une température de 500 °C environ pendant un cycle de nettoyage indépendant des périodes de cuisson. Ce procédé est commandé par un programmateur. Dès que la température de l'enceinte s'élève à 300 °C, un dispositif de sécurité verrouille la porte de celle-ci pour toute la durée du nettoyage (environ 80 minutes).

La consommation du cycle de nettoyage s'élève à 3 kW/h, mais cette augmentation de consommation est compensée par les économies réalisées pendant l'utilisation grâce à la meilleure isolation de l'enceinte.

### Four à micro-ondes

Le four à micro-ondes est utilisé depuis une trentaine d'années dans la restauration collective pour réchauffer des portions individuelles, mais son usage domestique est très récent.

● *Principe de fonctionnement*

L'appareil est équipé d'un magnétron qui engendre des ondes électromagnétiques de haute fréquence de 2 450 mégahertz. Le magnétron, un oscillateur à haute fréquence, émet des faisceaux qui sont dirigés vers les pales d'une hélice où ils se réfléchissent pour balayer tout le volume de l'enceinte. Les molécules des denrées à cuire sous l'action des micro-ondes oscillent à très grande vitesse en changeant de place et provoquent un échauffement très rapide des matières organiques, au point d'en assurer la cuisson (*fig.* 10).

● *Caractéristiques d'usage*

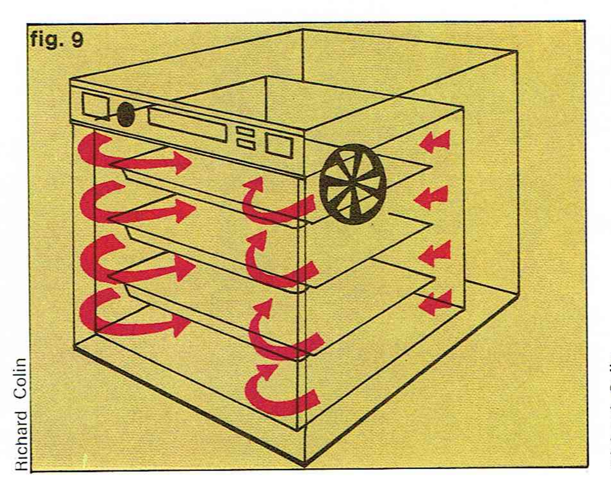
Par ce procédé, l'aliment est chauffé comme par lui-même, mais ce four ne permet pas d'obtenir une température supérieure à 100 °C. De ce fait, il n'est pas possible de rôtir, griller, gratiner, ou faire dorer l'aliment, mais seulement de le cuire à l'étouffée, de le réchauffer ou de le décongeler.

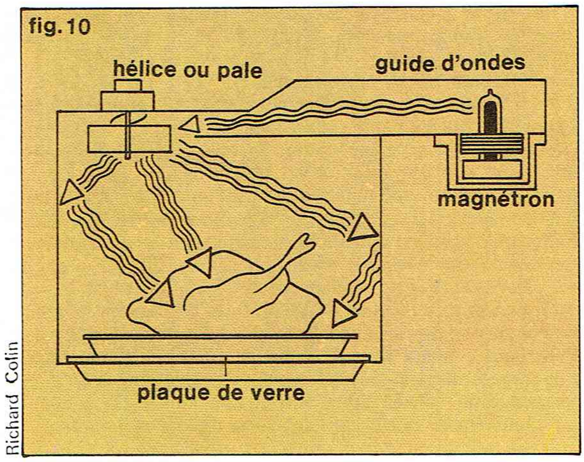
* *Récipients à utiliser.* Le métal est un écran qui, contrairement au verre ou au carton, réfléchit les micro-ondes. De ce fait, aucun récipient en métal ou composé en partie de métal ne peut être utilisé, car il risque de surcharger l'appareil et de détraquer le magnétron.

* *Temps de cuisson.* Pour de petites quantités, il est très court (de l'ordre de quelques minutes). Il augmente avec la quantité d'aliments à cuire (par exemple, un poulet de 1 kg : 10 minutes). Le temps de cuisson doit être respecté scrupuleusement, à 30 secondes près, d'après le mode d'emploi.

● *Utilisation*

Afin de permettre non seulement de cuire, mais aussi de rôtir ou griller, certains fours à micro-ondes sont équipés d'un élément gril pour saisir les aliments cuits préala-




▶ *Figure 9 : représentation schématique d'un four électrique à convection forcée. Figure 10 : schéma d'un four à micro-ondes.*

blement aux micro-ondes. Le four à micro-ondes, sans cet équipement, ne peut être utilisé que comme l'accessoire d'un four classique pour décongeler, réchauffer ou éventuellement cuire à l'étouffée quelques denrées en petites quantités, et le four classique sera utilisé pour la pâtisserie, les gratins, les rôtis.

● *La sécurité*

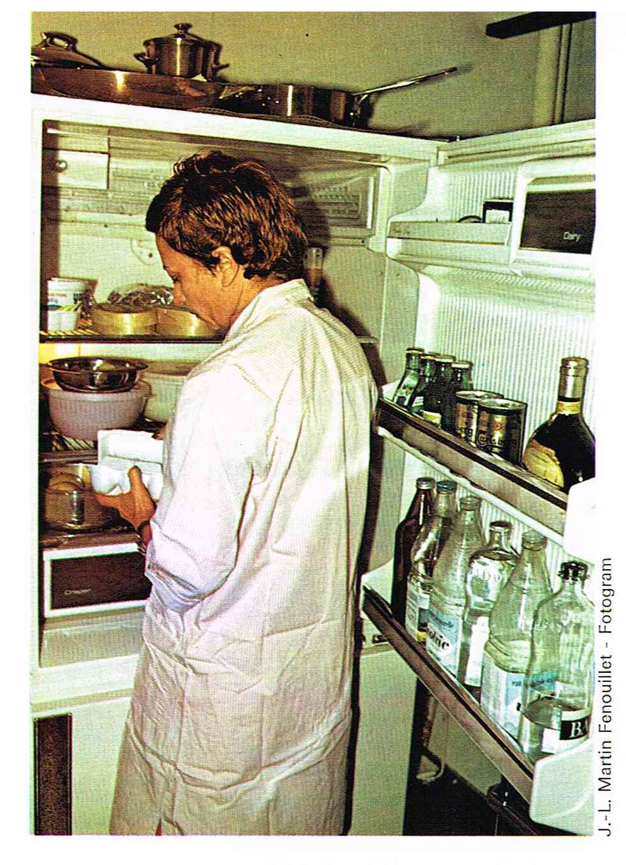
Les effets des micro-ondes sur l'organisme sont très mal connus. La vérification périodique par le service d'entretien est nécessaire pour dépister les fuites électromagnétiques éventuelles en cas d'usure des joints de la porte du four.

Aux États-Unis, les normes de sécurité sont en application depuis octobre 1971 et concernent :

— l'étanchéité de la porte ;

— le hublot de la porte, qui doit avoir une double épaisseur ;

— le double interrupteur de sécurité.



◀ ***Le réfrigérateur est devenu un élément indispensable de la cuisine et a modifié nos habitudes alimentaires.***

J.-L. Martin Fenouillet - Fotogram

## Le réfrigérateur

### Récupération de la glace naturelle

Au XVIIIe siècle, en Europe d'abord, aux États-Unis ensuite, on entreprit d'entreposer pendant l'hiver de la glace susceptible d'être utilisée pendant les mois d'été. Les premières routes furent souterraines. Ce n'est qu'au XIXe siècle que l'on envisagea de construire des entrepôts en surface possédant des parois doubles comme celles des glacières des bateaux qui exportaient de la glace naturelle vers les tropiques, et qui pouvaient en transporter jusqu'à 30 000 tonnes.

A partir de là, toute une industrie d'extraction de la glace des lacs et des rivières s'était développée, qui faisait intervenir un outillage spécialisé. On utilisait en particulier la « charrue à glace » qui, vers 1820, fut mise au point aux États-Unis. Elle travaillait à la manière d'une scie, creusant de profondes saignées dans les blocs de glace.

A cela s'ajoutaient des outils pour aplanir et racler, des appareils de levage et des convoyeurs pour transporter la glace jusqu'aux entrepôts.

### La conservation des aliments et le froid

Utilisées toute l'année, les glacières permettaient de conserver les denrées périssables et de suppléer éventuellement les autres procédés de conservation. La viande pouvait en effet être soit fumée, elle restait alors accrochée pendant des semaines dans la cheminée, soit salée, soit entourée de graisse sous forme d'un confit. Les fruits et légumes étaient entreposés dans des endroits frais et dans les caves où la température, aux environs de 10 ou 12 °C, restait constante toute l'année. Certaines viandes et certains fruits étaient séchés au soleil (poissons, champignons, raisins, figues, etc.).

Depuis 1795, date à laquelle Appert trouva le moyen de conserver les aliments par chauffage en vase clos, on savait également mettre en conserve une grande variété de denrées qui pouvaient être consommées ainsi pendant toute l'année.

Néanmoins, la découverte de la production artificielle du froid a complètement bouleversé les habitudes et les procédés traditionnels de conservation. Au XVIIe siècle déjà, on avait l'habitude en Italie de confectionner des « glaces » en plongeant un récipient rempli de crème sucrée dans de l'eau contenant du salpêtre dissous, ce qui constitue un mélange réfrigérant dans la mesure où la dissolution d'un solide dans un liquide entraîne une absorption de chaleur plus ou moins importante. Ce principe ancien est encore utilisé de nos jours, lorsqu'il s'agit de produire des pains de glace, le mélange utilisé étant celui du sel et de l'eau (saumure).

Une autre manière de produire du froid résulte de la détente d'un gaz. Ainsi opère-t-on pour la production de l'air liquide, mise au point par Georges Claude en 1917 d'après les travaux de Karl Ritter Von Linden, qui, en 1873, aboutirent en Allemagne à la fabrication d'une machine à produire le froid. Elle était elle-même issue des travaux de l'Américain Gorrie qui, en 1850, concevait la première machine frigorifique utilisant la détente de l'air comprimé, expérimentation déjà faite par Cullon vers 1780 lors de ses travaux sur la machine pneumatique.

D'une manière générale, la production du froid résulte des changements d'état subis par un fluide, corps liquide ou gazeux dit fluide frigorigène, qui engendre le froid suivant un cycle de transformations : évaporation, liquéfaction, évaporation. Au cours de son évaporation, le fluide absorbe la chaleur ambiante et produit donc du froid.

C'est Michaël Faraday qui, le premier, eut conscience de l'importance de la température dans les phénomènes de liquéfaction et de vaporisation des gaz. En 1823, il observa en particulier que le gaz ammoniac chauffé dans une branche d'un tube en V se recondensait dans l'autre branche. Ensuite de quoi, l'action de la flamme ne s'exerçant plus, l'ammoniac s'évaporait de nouveau avec production de froid intense.

Ainsi, Perkins, en Angleterre, invente en 1834 la machine frigorifique à compression permettant l'évaporation de l'éther dans le vide. C'est sur ce principe que fonctionne également l'appareil que Ferdinand Carré réalisa en France en 1860 et dont l'idée avait déjà été envisagée par Leslie en 1850. Siegfried Giedion parle ainsi de la glacière de Ferdinand Carré : « Elle était capable de fabriquer des milliers de kilos de glace à la fois et fut l'une des plus grandes attractions de l'Exposition universelle de Londres en 1862. Les visiteurs y voyaient d'énormes blocs de glace se faire de manière presque ininterrompue sous leurs yeux. »

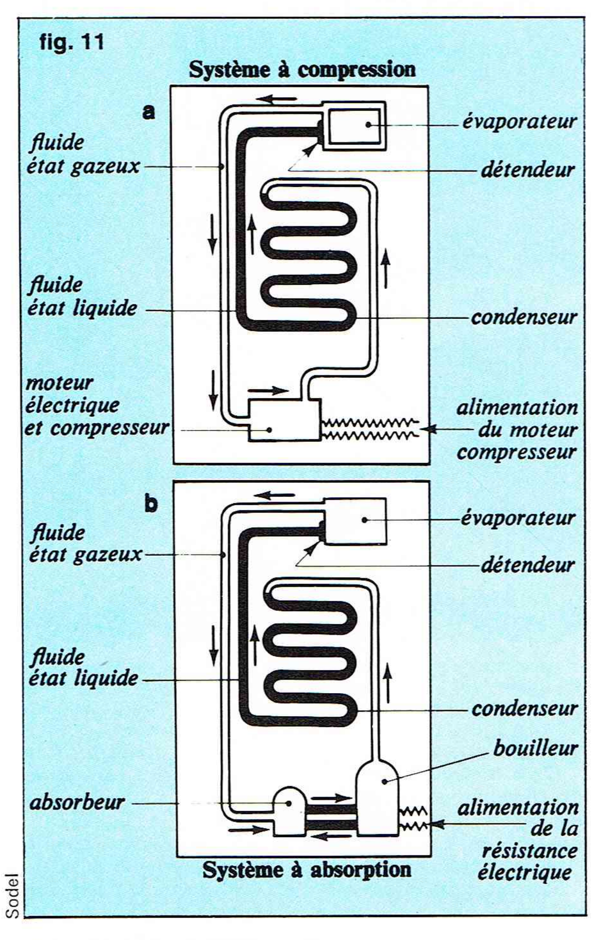
Ces premiers appareils utilisaient le gaz ammoniac dans les circuits frigorigènes. Dès 1860, Carré envisagea de réaliser des appareils de petites dimensions susceptibles d'être d'un usage domestique. La production de chaleur était obtenue par l'utilisation d'un petit fourneau agissant sur une chaudière remplie aux trois quarts de gaz ammoniac, et prolongée par un récipient congélateur. Si l'appareil était d'assez petite taille, son emploi était compliqué. Il fallait au moins une heure pour obtenir un kilogramme de glace.

Par la suite, le procédé s'améliorant, il fut effectivement possible de réaliser des réfrigérateurs de petite taille. Vers 1900, en particulier, d'autres fluides que l'ammoniac furent utilisés dans les circuits frigorigènes : il s'agit de l'anhydride sulfureux, du chlorure de méthyle et de l'anhydride carbonique.

L'utilisation du moteur électrique rendit également possible la mise au point de petits réfrigérateurs à compression, de fabrication française.

C'est vers 1916-1917 que la grande industrie s'intéressa véritablement à la fabrication des appareils ménagers. En 1923, il existait 20 000 réfrigérateurs aux États-Unis. Le Salon des arts ménagers de 1925 permettra au public français d'acquérir des réfrigérateurs à absorption, fabriqués au Canada et aux États-Unis. C'est seulement vers 1939-1945 que la France, coupée des importations, commencera à construire ses premiers réfrigérateurs. A cette époque-là, plus de trois millions et demi de réfrigérateurs sont déjà utilisés dans les foyers américains.

▶ *Figure 11 : principe de fonctionnement d'un réfrigérateur : a, système à compression ; b, système à absorption (document* Sodel, La réfrigération domestique*).*




### *Principes de fonctionnement des réfrigérateurs actuels*

Le cycle de transformations du fluide frigorigène (évaporation, liquéfaction, évaporation...) peut être obtenu par deux procédés :

— au moyen d'une source de chaleur (réfrigérateur à absorption) ;

— au moyen d'un compresseur (réfrigérateur à compression).

Ces deux procédés étaient en concurrence au début, mais le système à compression l'a emporté définitivement vers le milieu des années 1950.

▼ *Figure 12 : réfrigérateurs ; a, classique ; b, « une étoile » avec compartiment de conservation intégré à — 6 °C, c, « deux étoiles » (conservation — 12 °C) ; d, « trois étoiles » (conservation — 18 °C).*

#### Réfrigérateur à absorption

Ce type de réfrigérateur, toujours présent sur le marché, est en général de petites dimensions. C'est l'utilisation d'une source de chaleur qui permet d'effectuer le cycle de transformations du fluide frigorigène. Elle joue le rôle de moteur et envoie le fluide frigorigène, constitué d'ammoniac et d'eau, du bouilleur au condenseur où il se liquéfie. Il passe ensuite dans l'évaporateur et s'évapore en absorbant la chaleur à l'intérieur de l'armoire, en abaissant ainsi la température (*fig.* 11a).

#### Réfrigérateur à compression

Le réfrigérateur à compression, qui couvre presque la totalité du marché, utilise un compresseur entraîné par le moteur pour effectuer le cycle de transformations du fluide frigorigène. Le compresseur aspire celui-ci (le Fréon) et le comprime. Le fluide se liquéfie dans le condenseur. Il passe ensuite dans l'évaporateur, s'évapore en absorbant la chaleur à l'intérieur de l'armoire et en abaisse ainsi la température. Le fluide frigorigène à l'état de gaz est comprimé par le compresseur, et le cycle recommence.

Le thermostat, placé au contact de l'évaporateur, règle la fréquence des cycles de réfrigération : lorsque la température s'élève à l'intérieur de l'armoire, le thermostat commande la remise en marche du moteur (*fig.* 11b).

### *Le réfrigérateur*

Le réfrigérateur maintient les denrées entreposées à une température de 0 à 6 °C. Le refroidissement a pour effet de retarder le processus de dégradation des produits végétaux et de ralentir la détérioration des matières d'origine animale pendant un ou deux jours.

Au cours des vingt dernières années, plusieurs innovations techniques et technologiques ont contribué à améliorer la valeur d'usage du produit. Les premières unités hermétiques fabriquées en France en 1954 regroupent le moteur et le compresseur, jusqu'alors indépendants et reliés par une courroie. L'utilisation de la mousse de polyuréthanne à partir de 1964 permet de réduire l'épaisseur des parois et d'augmenter l'isolation thermique des réfrigérateurs.

De plus en plus, le réfrigérateur est intégré dans le mobilier de cuisine, soit en tant qu'élément à encastrer, soit équipé d'un plan de travail.

#### Installation du réfrigérateur

Même si le réfrigérateur reste la plupart du temps un élément indépendant, différentes solutions permettent de l'intégrer plus facilement à d'autres éléments de cuisine.

● *Table top.* Les modèles de capacité moyenne, environ 140 l, sont équipés d'un plan de travail situé à une hauteur de 850 à 854 mm ou de 900 à 904 mm.

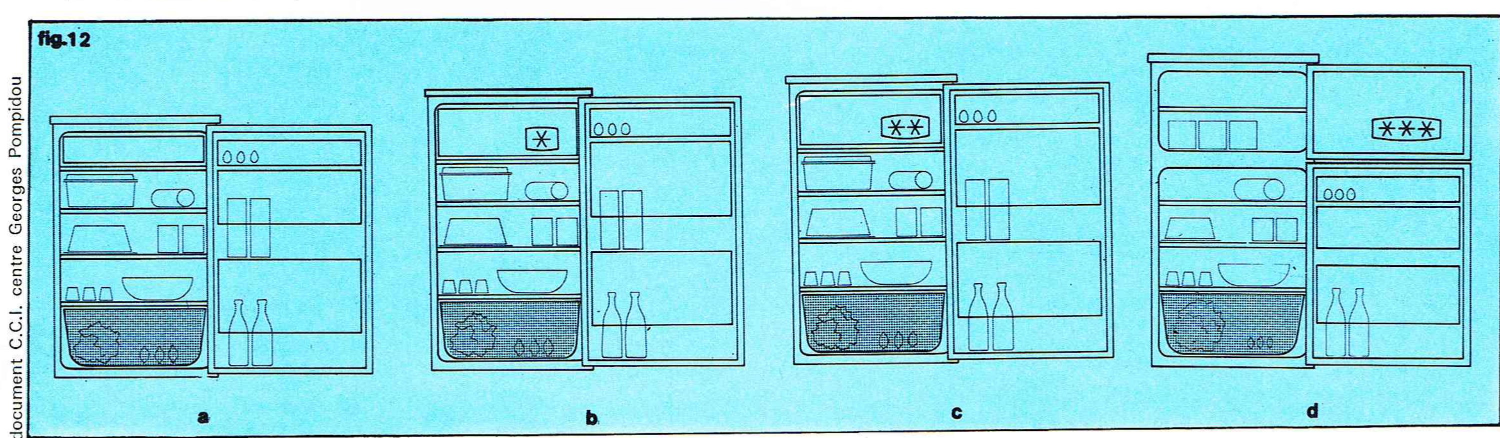
● *Modèles à encastrer.* Les modèles à encastrer sont équipés d'un dispositif d'aération par la façade et peuvent être encastrés soit sous un plan de travail, soit à la hauteur des yeux pour faciliter l'accès aux aliments entreposés.

● *Charnière à droite ou charnière à gauche.* Dans certains cas (côté du réfrigérateur adossé à un mur, par exemple), un seul sens d'ouverture de la porte est convenable. La plupart des appareils existent en version porte à droite (charnière à droite), mais il est possible de trouver des appareils équipés d'une porte à gauche (charnière à gauche). Certains modèles sont livrés avec les charnières à droite ou à gauche, et l'usager peut changer lui-même la porte de côté.

#### Le compartiment de conservation

Le réfrigérateur est souvent doté d'un compartiment de conservation : le conservateur, destiné à maintenir à basse température les produits surgelés ou congelés industriellement que l'on peut se procurer dans le commerce.

Après une période durant laquelle trois types de conservateurs étaient présents sur le marché, lesquels étaient différenciés par leur température (— 6, — 12, — 18 °C)




Vedette - Photo Bazaine Publicité

◀ *En milieu rural, le congélateur, souvent de taille importante, peut être placé dans la cave ou le cellier.*

et prêtaient à confusion quant à leurs emplois, le marché actuel s'oriente exclusivement vers les conservateurs à — 18 °C signalés par l'estampille NF « trois étoiles » (***).

Le conservateur à — 6 et à — 12 °C fait partie du réfrigérateur, par contre le conservateur à — 18 °C est bien isolé et équipé d'une porte indépendante (*fig.* 12). Il permet de conserver les denrées surgelées industriellement pendant une longue période, mentionnée en général sur leurs emballages. La *figure* 13 donne les zones de froid d'un réfrigérateur et d'un réfrigérateur-conservateur.

### Entretien du réfrigérateur

Le seul entretien du réfrigérateur est son dégivrage. L'humidité provenant des denrées est transformée en givre formé autour de l'évaporateur, qui augmente la consommation d'électricité et surcharge le compresseur. Il est donc recommandé de dégivrer une fois par semaine (dégivrage manuel ou semi-automatique) et, si possible de protéger les denrées entreposées par des emballages.

● *Dégivrage manuel.* L'arrêt de l'appareil, l'évacuation de l'eau et la remise en marche sont manuels. Les réfrigérateurs de ce type sont encore utilisés, mais en général pour de petits volumes.

● *Dégivrage semi-automatique.* L'arrêt de l'appareil et l'évacuation de l'eau sont manuels, mais le réenclenchement de la mise en marche est automatique.

Dans ces deux cas, l'eau de dégivrage est recueillie dans un bac spécial placé sous l'évaporateur, qu'il est nécessaire de vider après chaque opération.

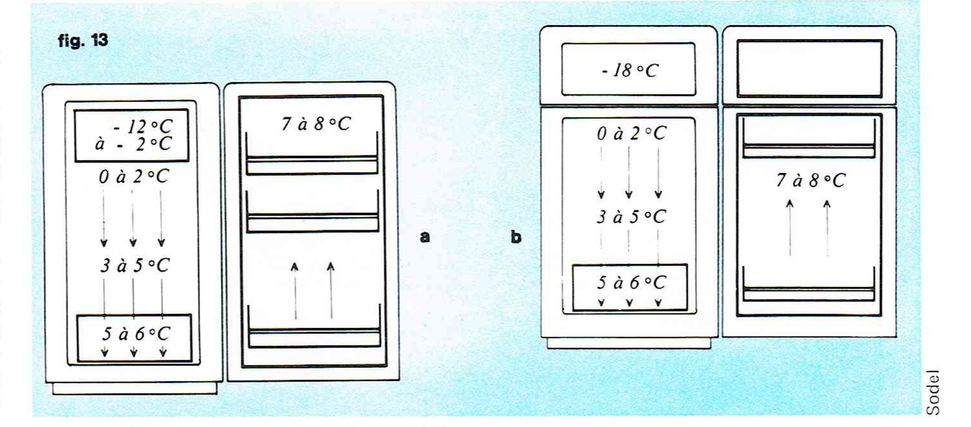
● *Dégivrage automatique.* Aucune intervention de l'usager n'est nécessaire. Un cycle de dégivrage est programmé, et l'eau s'écoule hors de l'enceinte pour s'évaporer à l'extérieur de l'appareil. De ce fait, le givre est pratiquement inexistant sur l'évaporateur.

A chaque cycle de dégivrage, manuel ou automatique, le compartiment « une » ou « deux étoiles » (— 6 °C, — 12 °C) faisant partie de la même armoire est aussi dégivré et doit être vidé, les produits surgelés risquant d'être abîmés par la décongélation et la recongélation. Seul le conservateur « trois étoiles » (— 18 °C) n'est pas perturbé, étant un compartiment à part.

● *Dégivrage à air pulsé.* Il s'agit du dégivrage entièrement automatique des deux compartiments réfrigérateur et congélateur. L'air froid produit par l'évaporateur est aspiré par un ventilateur qui le distribue aux deux compartiments. L'évaporateur est situé dans un compartiment séparé. Ce type de dégivrage existe sur les combinés d'importation américaine. La consommation d'électricité est plus importante.

### Réfrigérateur combiné avec un congélateur

Le réfrigérateur est souvent combiné avec un congélateur, permettant non seulement de conserver les denrées surgelées industriellement, mais aussi de congeler les denrées fraîches. Le combiné réfrigérateur-congélateur a généralement un compartiment congélateur peu volumineux (environ 40-80 l), ou bien un compartiment congélateur sensiblement équivalent au compartiment du réfrigérateur (environ 140 l). Dans ce cas-là, il est placé de préférence en bas, ce qui facilite l'accès plus fréquent au réfrigérateur se trouvant à la hauteur des yeux, et équipé de deux groupes hermétiques indépendants, ce qui permet d'en arrêter un (par exemple le réfrigérateur) et de laisser l'autre en marche en cas de besoin (*fig.* 14a).

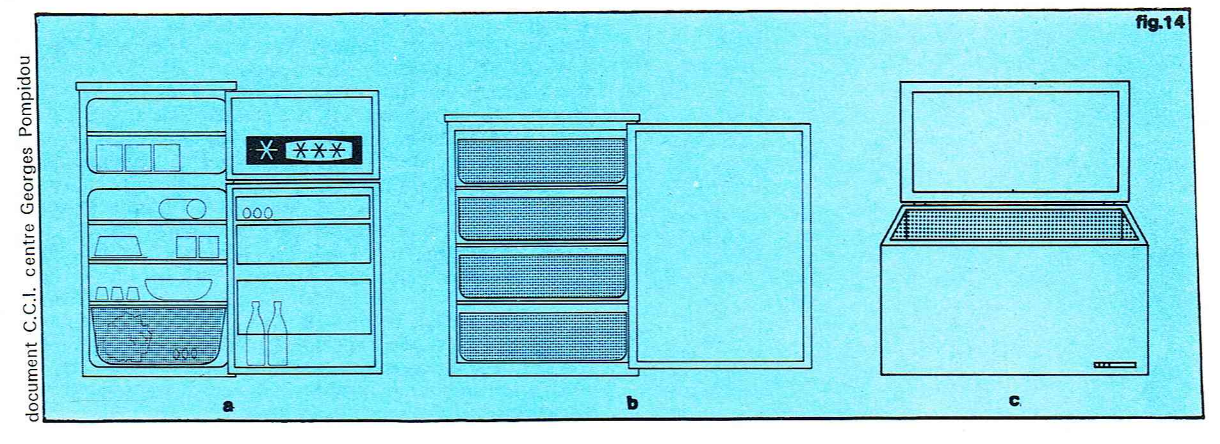


Sodel

▼ ***Figure 13 :** zones de froid ; a, d'un réfrigérateur classique ; b, d'un réfrigérateur-conservateur (document* **Sodel, La réfrigération domestique***).*

### *Le congélateur*

Les débuts de l'utilisation des congélateurs ont été beaucoup plus tardifs ; au départ, ils nous viennent des États-Unis (vers 1930). En France, il faut attendre les années 1950 pour que se généralise leur implantation. Elle s'est faite d'abord dans les milieux ruraux, où souvent le cultivateur procède à plusieurs congélations, comme celle des volailles, des quartiers de porc ou de bœuf élevés à la ferme, et conserve les fruits ou légumes récoltés ; puis dans les villes, où l'apparition des armoires aux dimensions semblables à celles du réfrigérateur et la combinaison possible avec celui-ci ont permis son utilisation dans les appartements relativement exigus. La congélation consiste à faire descendre, en vingt-quatre



document C.C.I. centre Georges Pompidou

◀ ***Figure 14 :** le congélateur peut être intégré au réfrigérateur* (a) *ou être un meuble indépendant : congélateur-armoire* (b) *ou coffre* (c).

▶ *Un congélateur-armoire de 300 litres : la cuve en polystyrène ; puissance de congélation : 24 kg de denrées par 24 h ; puissance du compresseur : 235 W.*



Vedette - Photo Bazaine Publicité

▼ *La lessive en lessiveuse (1905).*



Roger-Viollet

heures, la température des denrées fraîches à — 18 °C. Le poids des denrées fraîches qui peuvent être congelées est compris entre 4,5 et 6,5 kg de viande suivant la norme NF Froid. La conservation consiste à maintenir en permanence cette température.

**Le choix du congélateur**

Le congélateur existe soit en combiné avec le réfrigérateur, soit sous forme de coffre ou d'armoire (*fig.* 14b et 14c). Sa fonction diffère selon son utilisation par une famille urbaine, une famille résidant en milieu rural ou dans une exploitation agricole.

Le citadin ne dispose, en général, que de produits surgelés achetés dans le commerce. Le réfrigérateur conservateur *** et le réfrigérateur-congélateur suffisent pour la conservation des surgelés et la congélation de petites quantités de denrées fraîches (réfrigérateur-congélateur). On peut prévoir 20 à 40 l par personne pour une famille urbaine.

Un résident en milieu rural peut souvent obtenir des denrées fraîches en se les procurant directement auprès des producteurs du voisinage. Le congélateur coffre ou armoire est donc plus intéressant (et on peut prévoir une capacité de 60 à 80 l par personne).

L'exploitant agricole a souvent intérêt à congeler les produits de son exploitation pour les consommer plus tard et réduire ainsi l'importance de ses achats de denrées à l'extérieur. On peut prévoir 80 à 200 l par personne. Pour la congélation proprement dite, il faut un appareil puissant et dont la température descende aussi bas que possible, c'est-à-dire qu'un congélateur petit (100 à 150 l) servira à tout congeler et à stocker certaines préparations sirupeuses et des plats cuisinés. D'autre part, une grande armoire de conservation (qui ne peut descendre qu'à — 18 °C, — 22 °C) pourra être utilisée pour stocker les denrées demandant ces températures pendant le temps de conservation.

L'intérêt de cette formule peut être résumé ainsi :

— meilleures conditions de congélation sans risques de réchauffer une masse déjà entreposée ;

— meilleure conservation des catégories de produits qui nécessitent des températures plus basses (préparations au sirop et plats préparés).

Dans ce cas, il faut préciser que l'on doit obligatoirement congeler dans le petit coffre.

● *Rangement.* Les congélateurs armoires sont souvent équipés de tiroirs permettant un rangement pratique des produits congelés. Les congélateurs coffres sont équipés de paniers de rangement (le rangement est moins pratique, mais la place disponible est mieux utilisée).

● *Aliments à congeler.* Il est possible de congeler :

— les aliments frais (fruits, légumes, poissons, viandes, volailles, gibier, etc.) ;

— les aliments cuits (pain, pâtes, pâtisseries) ;

— les plats préparés (potages, sauces, plats à l'étuvée, viandes cuites, etc.) ;

— les desserts (crèmes, gâteaux, glaces, etc.).

Le *tableau* IV donne les caractéristiques d'un réfrigérateur et d'un congélateur.

## La machine à laver le linge

### *Avant la naissance des appareils à laver le linge*

Il y a encore quelques dizaines d'années, laver le linge était une des activités ménagères les plus pénibles. Après avoir laissé tremper le linge, souvent dans de l'eau de pluie, durant une nuit, on le savonnait, le brossait à l'eau chaude. Quand l'opération du lavage était terminée, le linge était emmené à la rivière où les différentes pièces préalablement pliées étaient énergiquement frappées sur une planche en bois à l'aide d'un battoir, et ensuite rincées à l'eau courante. Après avoir tordu chaque pièce, la lessive était ramenée près de la maison et étendue à l'extérieur. Bien que très long, ce procédé gardait au linge toute sa fraîcheur.

L'industrialisation et l'exode rural ont rendu pratiquement impossibles le rinçage dans les rivières, souvent polluées, et l'étendage du linge à l'extérieur.

Au XIX[e] siècle, la lessive se faisait dans des lavoirs publics, devenus de véritables lieux de rencontre, où l'on disposait d'eau courante et de grandes cuves.

Plus tard s'est développé le métier de blanchisseur à qui une partie de la population confiera aussi bien le nettoyage que le repassage de son linge.

### *Historique de la machine à laver le linge*

#### Les prémices

Les premières inventions concernant la machine à laver le linge s'échelonnent entre 1780 et 1800 et proviennent d'Angleterre. Elles concernent des appareils très encombrants, mus par des systèmes mécaniques comprenant des manivelles, des roues, des leviers, des contrepoids, etc., qui ne proposaient, hélas! que de maigres résultats.

Le dispositif consistait la plupart du temps à mettre en mouvement un système à balancier frottant et pressant le linge sur la paroi inférieure d'un bac. Cette idée de reproduction du mouvement de la main d'une blanchisseuse frottant son linge sur une planche à laver sera reprise par la suite aux États-Unis, où un modèle datant de 1846 prolongea son existence jusque vers les années 1925 : une balancelle se déplace au-dessus d'une claie constituée par des rondins de bois espacés les uns des autres; un vilebrequin communique à la balancelle et à la claie des mouvements d'aller et retour grâce auxquels le linge est frotté et pressé entre ces deux parties de l'appareil.

Un souci identique de reproduire le mouvement de la main se retrouve dans un principe d'essorage faisant en 1780 l'objet d'un dépôt de brevet et dans lequel on envisage de suspendre le linge humide à deux extrémités, le mouvement rotatif imprimé à l'une d'elles permettant de chasser l'eau du linge. En 1790, le linge humide sera placé dans un filet que l'on tordra ensuite grâce à l'utilisation d'une manivelle. Ce principe sera d'ailleurs repris au milieu du XIXe siècle, et le brevet déposé alors ne fera que modifier les principes de fixation du filet.

Parallèlement à l'avènement de moyens techniques propres à faire naître une véritable machine à laver, le début du XIXe siècle va être témoin d'un certain nombre d'améliorations fondamentales portant sur l'efficacité des produits de lavage. Auparavant, le linge était lavé dans un cuvier. La lessive était dissoute dans l'eau et on imprégnait le linge de cendres de bois (sels de sodium et de potassium). En 1800, Nicolas Leblanc découvre le procédé de fabrication industrielle du carbonate de sodium, et la lessiveuse qui opère automatiquement les étapes du lavage en cuvier fait son apparition.

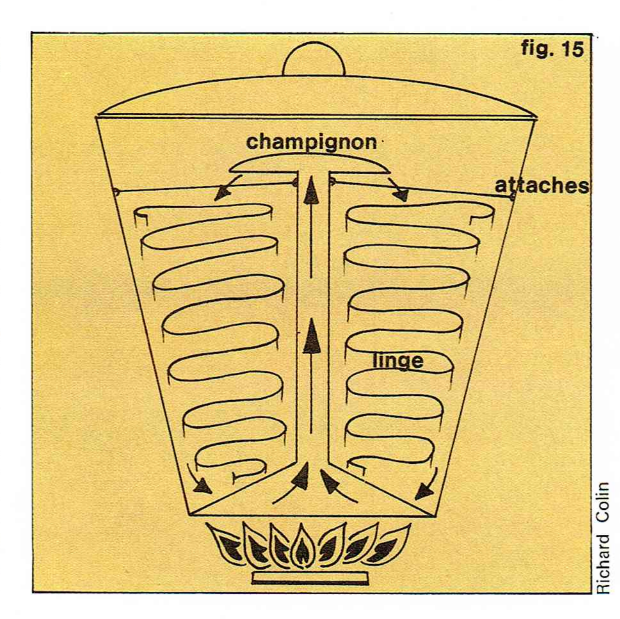
#### La lessiveuse (*fig.* 15)

C'est une cuve en métal munie d'un double fond, perforé dans sa partie supérieure, et qui communique avec un tube central placé dans l'axe de la cuve. Ce tube est surmonté d'un capuchon en forme de champignon percé de trous à sa périphérie. Le linge est réparti autour du tube central, et la vapeur ainsi que le liquide, que bloquent les couches de linge, pénètrent dans le double fond, remontent par le tube jusqu'au champignon d'arrosage qui les redistribue ensuite sur le linge. Le détergent, dissous dans l'eau, traverse le linge, enlève les taches, puis pénètre à nouveau dans le tuyau pour recommencer le cycle. Pour obtenir le meilleur lavage possible, il est nécessaire de dissoudre d'abord le détergent dans l'eau tiède et, pour ce qui concerne la répartition du linge, sans tasser celui-ci, afin que la circulation de la vapeur et de l'eau se fasse dans de bonnes conditions, il est bon de placer les textiles les plus délicats sur le dessus et à plat. Il faut également prendre soin, en remplissant la lessiveuse d'eau, d'en recouvrir tout le linge.

Le cycle de lavage est extrêmement long. Il faut passer d'abord par le savonnage et le brossage du linge, procéder ensuite à l'ébullition, puis à de nombreux rinçages et essorages lorsque le linge est refroidi. Il faut également compter avec la manutention du récipient rempli qui représente un poids considérable. Par ailleurs, le lavage en lessiveuse n'est pas toujours très efficace, et les taches qui se trouvent au niveau des plis s'effacent, en particulier, très difficilement.

#### Les débuts de la machine à laver

Vers 1830, on voit apparaître en France des machines utilisant la circulation de l'eau bouillante et de la vapeur à l'intérieur de la masse de fibres textiles pour provoquer




◄ ***Figure 15 : schéma d'une lessiveuse traditionnelle. Le linge faisant obstacle au dégagement de la vapeur, celle-ci refoule l'eau chaude dans le champignon et provoque ainsi un arrosage continu.***

le nettoyage. Ces machines sont utilisées dans les blanchisseries de l'industrie textile et permettent de préparer les fils et les tissus pour la mise en teinture.

Jean-Baptiste Dumas, dans son *Traité de chimie appliquée aux arts* (1847), présente l'appareil dont le fonctionnement s'inspire directement de celui de la lessiveuse. La vapeur est obtenue dans une chaudière qui pulse l'eau chaude dans une tuyauterie jusqu'au cuvier où elle retombe en pluie uniforme sur le textile. Il s'agit là d'un ensemble parfaitement statique. Pour augmenter l'efficacité, il faudra y ajouter les effets de brassages et de frottages.

Ainsi, vers 1830, les tentatives de reproduction du mouvement manuel n'ayant guère donné satisfaction, nous allons voir apparaître les premières machines à tambour. L'idée de placer le linge dans un tambour rotatif à axe horizontal, pour permettre son brassage dans le liquide laveur, remonte à 1782 et fait à ce moment-là l'objet d'un brevet anglais. Néanmoins, dans la première moitié du XIXe siècle, le principe sera considérablement amélioré.

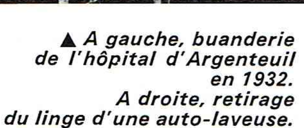
La « Tachemine », première machine à laver à tambour utilisée dans les blanchisseries françaises et qui date de 1840, est décrite de la manière suivante par F. Klein Rebour : « C'était un énorme tambour à quatre compartiments. Chaque compartiment possédait une ouverture percée sur le fond du tambour et par laquelle on introduisait le linge et le liquide laveur... Les quatre portes fermées hermétiquement, on mettait l'appareil en marche; le linge était alors emporté dans un mouvement de rotation... Au début, le linge et le liquide reposaient sur la paroi extérieure du compartiment. Au premier quart de tour, le linge changeait de position, et se frottait contre la section formant croix au centre de l'appareil. Lorsque la machine avait fait un demi-tour, le linge était venu se masser dans l'angle droit, pour retomber, pendant le dernier quart de tour, sur la circonférence, où il se frottait de nouveau pendant que la machine recommençait un nouveau tour de rotation sur la droite. »

Le « Tonneau à cinq pans » qui remplaça la « Tachemine » comportait une porte sur la circonférence, qui facilitait le chargement mais également le déchargement, puisqu'il suffisait de renverser l'appareil porte ouverte pour que le linge tombât par gravité dans un récipient placé au-dessous. Dans cette machine, qui ne possédait plus de compartiments, se produisait, dans un premier temps, le glissement du linge sur le plan placé au-dessous lors de la mise en rotation. L'angle venait ensuite arrêter le glissement et bloquait le linge jusqu'à ce qu'il fût parvenu en partie haute, à la suite de quoi il retombait sur le plan horizontal qui, à ce moment-là, se trouvait à la partie inférieure, et ainsi de suite, d'où une succession de glissements et de frottements sur les parois ainsi que de chutes brutales dans le liquide laveur, dont l'émulsion à ce moment-là était si grande qu'il avait fallu percer des trous dans le fond du tambour pour éviter les explosions. Ces machines, mues à la main ou à l'aide d'un moteur,



Roger-Viollet

Boyer - Roger-Viollet



▲ *A gauche, buanderie de l'hôpital d'Argenteuil en 1932. A droite, retirage du linge d'une auto-laveuse.*

faisaient environ 28 à 30 tours par minute et pouvaient laver en un quart d'heure 10 à 15 kg de linge.

Sans quitter le domaine de la grande blanchisserie, un modèle de machine à laver, mis au point par James T. King aux États-Unis en 1851, va pour la première fois être fabriqué à une échelle véritablement industrielle. Siegfried Giedion, dans *Mecanization Takes Command*, explique qu'il exploitait la circulation naturelle de la vapeur et de l'eau bouillante, et que leur action était renforcée par le mouvement rotatif d'un cylindre (tambour), tournant concentriquement à l'intérieur d'un second cylindre, immobile celui-là, et chauffé par un foyer que l'on activait au-dessous. Les cylindres étaient remplis à moitié d'eau. Lorsque la vapeur commençait à s'échapper de la chaudière, on introduisait la quantité de savon nécessaire, puis, après quelques tours de tambour, le linge, qui séjournait entre 3 et 20 minutes, la chaudière étant mise en rotation de temps à autre. Le linge était alternativement plongé dans la vapeur dont le rôle était d'ouvrir les fibres et dans la mousse de savon qui permettait d'enlever la crasse.

**Les appareils à usage domestique**

Malgré les perfectionnements que vont subir à la fin du XIX$^{e}$ siècle les machines à laver dans le cadre des laveries et des blanchisseries industrielles, ce n'est qu'au début du XX$^{e}$ siècle que les appareils à laver le linge pénétreront dans les foyers américains. C'est sans doute en grande partie à cause des tarifs croissants pratiqués par les blanchisseries que les appareils domestiques vont faire leur apparition.

Il s'agira dans un premier temps de machines mues grâce à l'énergie musculaire, qui consisteront parfois en une simple amélioration de la lessiveuse, telle la « Merveilleuse » décrite dans *la Nature* du 15 mars 1924, et qui comporte un axe traversant le couvercle avec, à sa partie inférieure, un « organe malaxeur », permettant de communiquer au malaxeur un mouvement de va-et-vient pendant les opérations de chauffage et de rinçage.

L'idée ancienne du tambour à axe horizontal mû par une manivelle sera maintes fois remise à l'honneur. En France, la lessiveuse BRC, les machines Gyor, les machines Ducellier, etc., vers les années 1920, seront en particulier de ce type.

Néanmoins, les machines manuelles verticales qui voient le jour vers 1860 seront, au dire de Giedion, à cette époque, les plus employées aux États-Unis pour les usages domestiques.

Le linge placé dans le tonneau vertical peut y être brassé d'une manière plus ou moins complexe. En France, la « Lavandière » comporte un malaxeur constitué par « un plateau muni de quatre doigts verticaux actionnés par un levier à glissière »; la « Nec plus ultra » possède un élément batteur « formé de deux palettes en bois qui reçoivent un mouvement alternatif produit par la rotation d'un volant-manivelle ». La laveuse-rinceuse « Aurore » utilise « deux fouloirs en bois, mobiles en tous les sens et jumelés sur un palonnier ». Ils sont supportés par une traverse qui s'élève et s'abaisse alternativement, etc.

Le problème de l'**essorage** est, quant à lui, résolu d'une manière générale par l'utilisation d'un dispositif annexe monté sur le tonneau et consistant à faire tourner en sens inverse un couple de deux rouleaux-presseurs qui chassent l'eau contenue dans le linge lorsque celui-ci passe entre eux.

Dès la fin du siècle dernier, l'idée de chasser en dernier lieu l'eau du linge en utilisant la force centrifuge avait tenté nombre d'inventeurs. Cette idée entraînait évidemment celle du cumul des opérations de lavage, rinçage, essorage dans le même récipient.

Comme l'essorage nécessite une plus grande vitesse de rotation, il fallut envisager des systèmes de changement de vitesse. Vers les années 1870, on commença à se pencher très sérieusement sur le problème. Néanmoins, pour obtenir de bons résultats, le moteur électrique était nécessaire. En 1878, un inventeur déposera ainsi un brevet de machine à laver et à essorer à bac unique actionné par un moteur électrique avec changement de régime manuel.

A partir de là, l'idée de la mécanisation intégrale du blanchissage familial fit son chemin, et l'on pensa à mettre au point un automate capable, sans intervention manuelle, de prendre le linge sale et de livrer le linge essoré. Pour résoudre ce problème compliqué, il faudra mettre au point des systèmes de contrôle automatiques capables de déclencher des électrovalves ainsi que de connecter et de déconnecter les contacts électriques commandant la rotation du tambour. Si le blanchissage



Roger-Viollet

▶ *Machine à laver le linge électrique; essorage après lavage (1949).*

semi-automatique a été rendu possible seulement en 1920, c'est vers 1940 que l'automatisme intégral de la machine à laver individuelle verra le jour aux États-Unis.

### *La machine à laver le linge aujourd'hui*

#### Le lave-linge à pulsateur

Le début du siècle a vu naître les premières machines à agitateur, dotées d'un mécanisme plongé dans l'eau : l'agitateur permettant le déplacement du linge. Les agitateurs, de formes variées (pales, spirales, ailettes), sont fixés dans la cuve et animés d'un mouvement de rotation. Ils étaient d'abord actionnés par une manivelle, remplacée plus tard par le moteur électrique.

Le perfectionnement de la machine à laver le linge a permis le remplacement de l'agitateur par une turbine jouant le rôle de pulsateur. Le lave-linge à pulsateur était pourvu d'un chauffage à gaz, aujourd'hui pratiquement abandonné au profit des lave-linge électriques.

Désormais le principe de fonctionnement par pulsateur est essentiellement utilisé pour les petits appareils portatifs de capacité de 1,5 kg de linge. Ces petites machines n'assurent ni le rinçage, ni l'essorage, rarement le chauffage, et le lavage y est effectué en général à une température de l'ordre de 60 °C (*fig.* 16).

● *Le problème de l'essorage*

Le lave-linge à pulsateur peut être couplé soit avec une essoreuse indépendante, soit avec une essoreuse incorporée dans le même bloc, constituant un appareil à deux cuves. Dans les deux cas, le linge doit être déplacé et traité par petites quantités.

L'essorage, c'est-à-dire la diminution de la quantité d'eau contenue dans le linge, est obtenu par la force centrifuge exercée sur le linge placé dans un cylindre perforé que l'on fait tourner à grande vitesse (1 500 tours par minute ou 2 800 tours par minute). L'efficacité de l'essorage dépend de la vitesse de rotation du panier.

Le linge essoré ne contient qu'entre 400 à 600 grammes d'eau par kilo de linge sec, ce qui permet un séchage rapide. Pour des raisons de sécurité, l'essoreuse est dotée depuis plusieurs années d'un freinage automatique qui fonctionne dès que l'on déverrouille le couvercle.

#### Le lave-linge à tambour

Les premiers lave-linge à tambour, apparus en France en 1955, sont actuellement les plus répandus. Depuis les années 1960, ils permettent d'effectuer l'ensemble des opérations telles que prélavage, lavage, rinçage et essorage sans intervention ni surveillance de l'opérateur.

● *Principe de fonctionnement*

Un tambour cylindrique en acier inoxydable, perforé et contenu dans la cuve, tourne autour d'un axe horizontal. Le linge, enfermé dans le tambour et immergé en partie, est mis en mouvement par les palettes du tambour qui soulèvent le linge avant de le laisser retomber. Durant le lavage et le rinçage, le mouvement circulaire du tambour répété alternativement dans les deux sens provoque le brassage du linge (100 tours par minute). Le temps de rotation est interrompu par les temps d'arrêt plus ou moins longs suivant la nature des textiles (*fig.* 17).

A la fin d'une des séquences du cycle (prélavage, lavage, rinçage), l'eau est évacuée au moyen d'une pompe de vidange.

L'opération du rinçage est répétée plusieurs fois et se termine par l'essorage. Le tambour tourne alors à grande vitesse ; 300 tours par minute ou même 500 à 700 tours par minute, et une grande partie de l'eau contenue dans le linge est ainsi chassée puis évacuée par la pompe de vidange. Le linge essoré contient entre 700 et 1 200 g d'eau par kilogramme de linge sec.

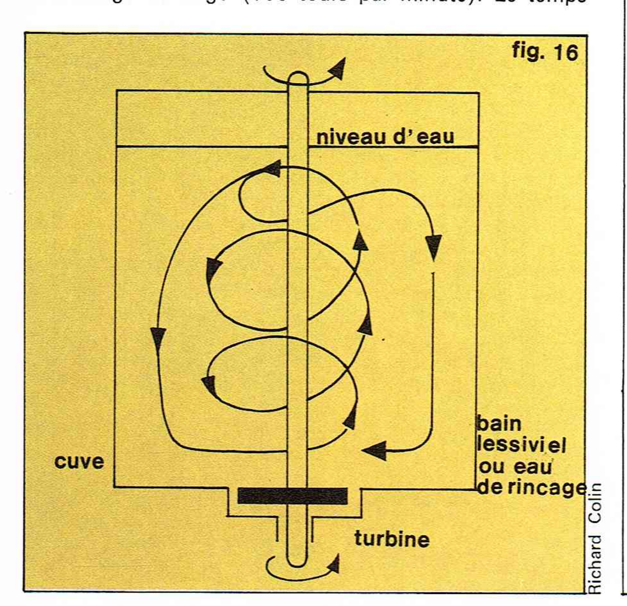
● *L'utilisation du lave-linge*

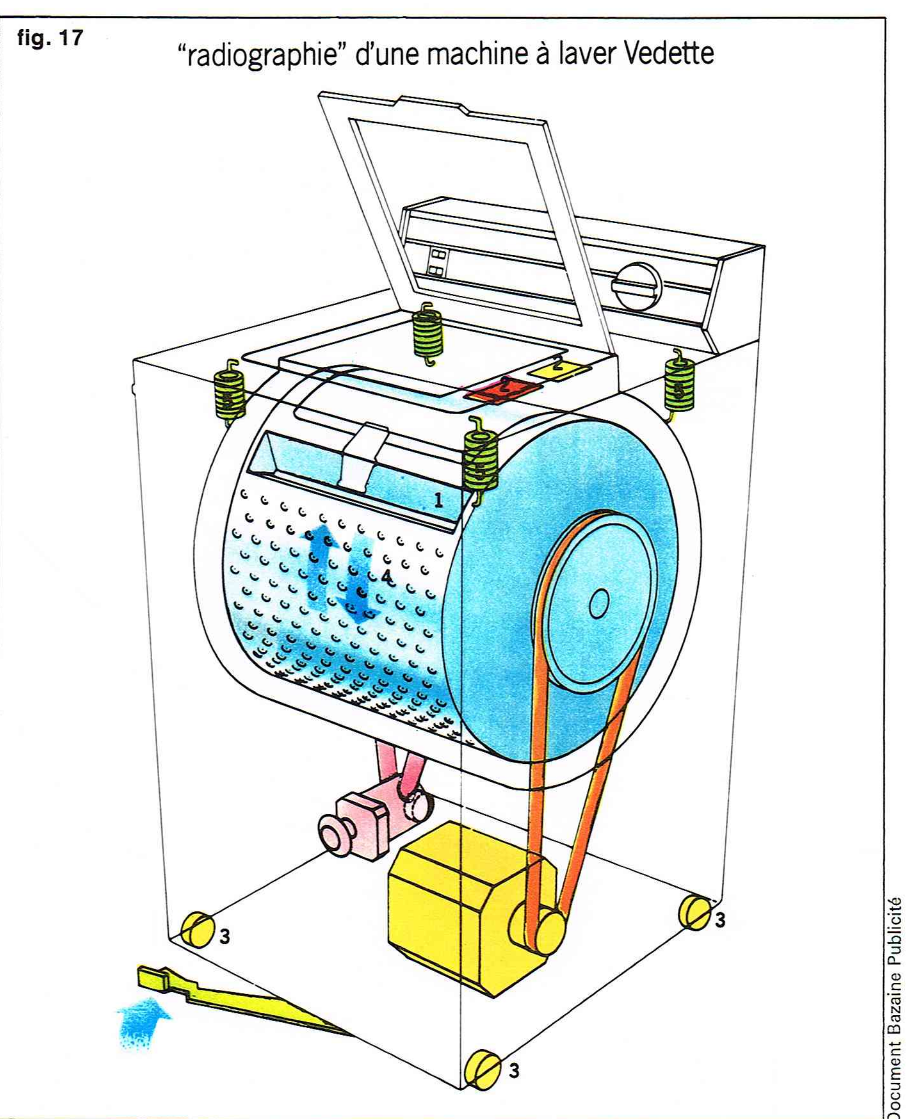
Actuellement, le lave-linge est doté d'une très grande quantité de programmes (de 2 à 23), mais, dans la pratique, l'utilisateur n'en choisit que 4 ou 5. Ces différents programmes sont adaptés aux catégories de linge à traiter et définis par la durée de prélavage, et la température maximale de lavage, qui se situe à 30 °C, 40 °C, 60 °C et 95 °C.

En général, le tambour peut contenir entre 4 et 5 kg de linge de coton et environ 2 kg de textiles synthétiques. Le prélavage, que l'on peut comparer au trempage, est utile seulement si le linge est très sale.

Le temps de lavage dure environ 50 minutes ; la cuve est remplie d'eau froide qui est chauffée en fonction des textiles à traiter.

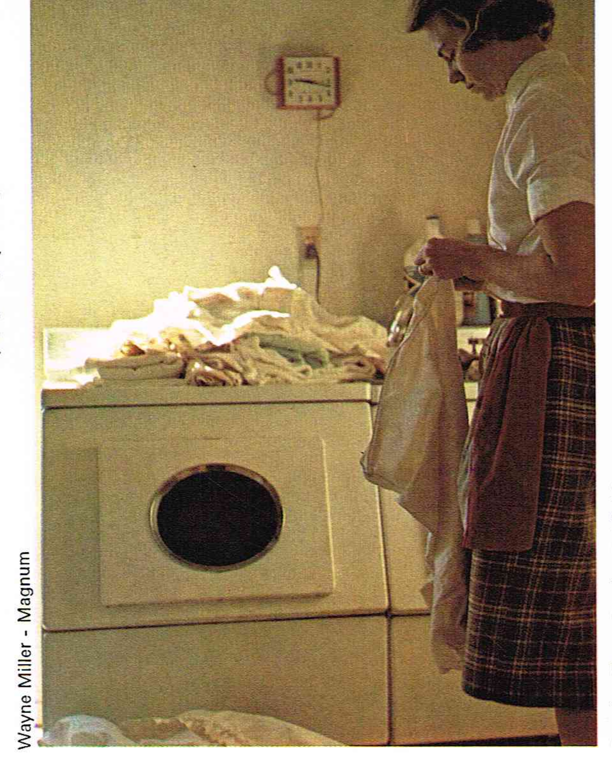
La qualité du rinçage, répété plusieurs fois et réalisé dans une quantité d'eau plus importante que lors du lavage, détermine l'aspect du linge à la sortie de la machine. A chaque rinçage succède l'essorage ; son efficacité est proche de celle de l'essoreuse indépendante. Elle dépend en effet de la vitesse de rotation, mais aussi




***▼ Figure 16 : machine à laver à pulsateur. Ce principe est essentiellement utilisé pour les petits appareils portatifs sans éléments chauffants. Figure 17 : schéma d'une machine à laver le linge à tambour.***

▶ *A gauche, machine à laver le linge à chargement frontal. Ce modèle permet d'utiliser le dessus de la machine comme plan de travail. A droite, machine à laver le linge à chargement par le haut.*



Wayne Miller - Magnum



Brandt - Photo Bazaine Publicité

du diamètre du tambour, plus grand pour la machine à laver.

● *Installation*

La machine à laver est généralement installée dans la cuisine ou dans la salle de bains. Elles ont toutes des dimensions normalisées : hauteur 850 mm, largeur 400 à 480 mm ou 600 mm, profondeur 600 mm.

Il existe deux principes de chargement du linge : le chargement frontal et le chargement par le haut.

● Les appareils à *chargement frontal*, constituant 25 % du marché, comportent un hublot en façade donnant accès à une ouverture du tambour destinée à y introduire le linge. La suspension du tambour est relativement fragile, l'arbre d'entraînement, fixé à l'autre extrémité, reposant sur deux paliers solidaires de la cuve.

Ce modèle permet d'utiliser le dessus de la machine comme plan de travail ou de lui superposer un séchoir rotatif. Certains modèles peuvent être encastrés sous un plan de travail. Dans ce cas, l'emplacement du filtre est important; celui-ci pouvant être obturé lors du lavage, on doit pouvoir y accéder facilement pour le nettoyer.

● Les appareils à *chargement par le haut* sont équipés d'un tambour muni d'une ouverture périphérique fermée par une porte à glissière. On y accède en ouvrant le couvercle à charnière disposé sur le plan supérieur de la machine. Ces modèles sont intéressants pour leurs dimensions, la largeur inférieure à celle des modèles à chargement frontal permettant une capacité égale, mais aucun autre élément ne peut leur être superposé.

Le lave-linge est alimenté en eau froide par un tuyau souple livré avec la machine et raccordé à un robinet d'arrêt. La vidange est effectuée soit par un entonnoir spécial, relié à l'aide d'un siphon à la canalisation au sol, soit en accrochant directement la crosse du tuyau de vidange à un lavabo ou une baignoire.

**fig. 18**

▶ *Figure 18 : schéma de principe du fonctionnement de la machine à laver séchante. 1, tuyau d'arrivée d'eau; 2, raccord sur la cuve d'arrivée d'eau; 3, bulle thermostatique; 4, tuyau dérivé et raccord sur la cuve : prise d'air; 5, thermostat de sécurité (110 °C); 6, sens de rotation; 7, réflecteurs; 8, élément chauffant-séchage; 9, pompe de vidange.*

Document Bazaine Publicité

### Machine à laver le linge séchante

Le dernier modèle introduit en France il y a cinq ans ne constitue qu'une très faible proportion du marché (environ 1 %). Elle permet le séchage du linge dans le tambour servant au lavage et, de ce fait, est intéressante en cas de problème de place.

● *Principe de fonctionnement*

Son fonctionnement lors du lavage est identique à celui d'une machine à tambour. Lors du séchage, les résistances électriques blindées, placées au fond de la cuve et utilisées pour le chauffage de l'eau, assurent le chauffage de l'air de la cuve.

L'humidité de l'air est condensée à l'intérieur de la cuve grâce à la circulation continue d'une nappe d'eau froide sur une des parois de la cuve. La durée de séchage est très longue, environ 90 à 120 minutes, et implique une consommation importante d'eau pendant ce cycle (80 litres par heure environ). Certains modèles s'efforcent de pallier cet inconvénient par une circulation d'eau intermittente.

Mais le linge n'est pas suffisamment brassé, et son repassage est plus long. De plus, la capacité de séchage est la moitié de celle de lavage. Il faut donc soit laver seulement 2,5 kg de linge pour ne pas interrompre le cycle, soit en laver 5 kg et en enlever la moitié avant d'enclencher le cycle de séchage. Le thermostat interrompt le chauffage de l'air lorsque la température ambiante du tambour atteint 100 °C, c'est-à-dire lorsque la régulation thermostatique normale de séchage (90 °C pour le coton et 65 °C pour les synthétiques) est défectueuse.

### Sèche-linge à tambour

Le sèche-linge à tambour est actuellement peu répandu en France, mais son utilisation est en voie de progression grâce à la qualité du service rendu.

Il se présente sous la forme d'une machine à laver, ses dimensions normalisées sont identiques; de ce fait il peut être juxtaposé à la machine à laver ou bien être posé sur elle et former une colonne d'une hauteur de 1700 mm.

Il est doté d'un ventilateur qui brasse l'air chauffé seulement à 50 °C. Le débit de l'air chaud est très élevé, d'environ 150 à 200 m$^3$ par heure. L'air saturé d'humidité est expulsé par un orifice hors de la cuve. Le brassage du linge est assuré par la rotation du tambour; il est sensiblement supérieur à celui des machines à laver, ce qui augmente sa capacité de séchage (environ 4 kg).

● *Installation*

L'installation du séchoir à tambour dans la salle de bains, généralement petite et peu aérée, n'est pas à conseiller, l'appel d'air étant trop important. Il est préférable d'évacuer l'air chaud et humide vers l'extérieur de la pièce à l'aide du tuyau ou de la buse d'évacuation.

**Les armoires séchantes**

Elles sont munies d'un ventilateur qui propulse de l'air préalablement chauffé par une résistance située au bas de l'appareil. La durée de séchage est plus longue que pour le séchoir à tambour, et le linge qui en sort est moins souple. Ce modèle relativement encombrant disparaît peu à peu du marché.

## *Le lave-vaisselle*

L'invention de la machine à laver la vaisselle est relativement ancienne, puisqu'elle remonte à 1865. Néanmoins, c'est au cours des années 1920 que son usage se répand et que différents modèles sont développés.

Il s'agit presque exclusivement de machines à laver les assiettes. Celles-ci sont disposées dans un panier généralement circulaire, mis en mouvement à l'aide d'une manivelle à main. La machine n'utilise pas encore de pompe à eau. C'est un modèle de ce type qui pour la première fois sera présenté au public à la Foire-Exposition de 1910.

Les premières machines à laver la vaisselle à moteur électrique apparaissent vers les années 1930. Le chauffage peut être soit électrique, soit au gaz. Ces premières machines utilisent tantôt un panier fixe doté d'une pompe ou de palettes qui projettent l'eau de lavage, tantôt un panier rotatif, l'orientation des jets et le mouvement circulaire du panier permettant alors le lavage. Lorsque les modèles étaient de grosse capacité, le chauffage de l'eau était incorporé dans l'appareil.

Il faudra beaucoup de temps pour que le lave-vaisselle pénètre dans les foyers. En France, on devra attendre les années 1960 pour le voir utilisé d'une manière courante. Encore faut-il constater que son usage ne touche aujourd'hui qu'une fraction aisée de la population, et qu'une relative disparition de la domesticité justifie l'emploi du lave-vaisselle. Un rapide calcul de rentabilité permet d'ailleurs de constater que, chaque lavage de la vaisselle



Boyer - Roger-Viollet

**◀ *Mise en place des assiettes dans le moto-laveur (modèle pour 60 assiettes).***

représentant maintenant une dépense de l'ordre de 2 ou 3 francs, l'amortissement de la machine étant mis à part, le travail à la main n'est plus rentable à partir du moment où celui-ci est rémunéré.

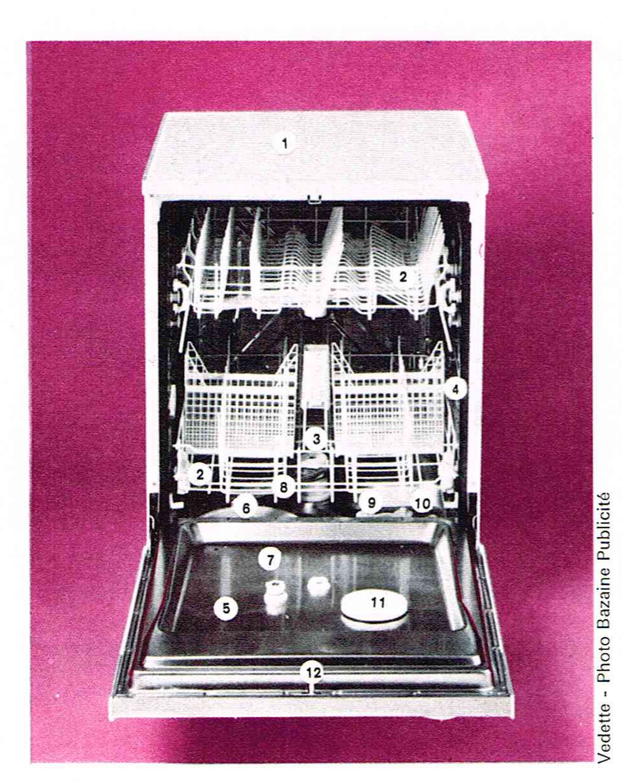
La production en série du lave-vaisselle a débuté en 1950 aux États-Unis. C'est à l'Allemagne qu'il a appartenu de développer un peu plus tard le modèle « européen ». Elle bénéficiait pour cela d'un savoir-faire technologique acquis lors de la mise au point de la machine à laver le linge, dont la conception est somme toute assez voisine.

Jusqu'à l'apparition des modèles de fabrication française, de nombreux critères ont freiné la vente de cet appareil dans notre pays, et, parmi eux, un encombre-

**▼ *Toute cuisine complètement équipée comporte maintenant un lave-vaisselle.***

Thomson - Photo Bazaine Publicité

▶ *Figure 19 : machine à laver la vaisselle. 1, plan de travail en stratifié ; 2, 2 paniers amovibles, le panier supérieur est réglable sur 2 positions ; 3, réglage du cycle « spécial casseroles » ; 4, cuve en acier inox ; 5, contre-porte en acier inox ; 6, filtre de vidange ; 7, voyant de contrôle du niveau de produit de rinçage ; 8, bras d'aspersion ; 9, adoucisseur incorporé ; 10, voyant de contrôle de teneur en sel du bain régénérateur ; 11, distribution automatique du produit lessiviel ; 12, sécurité de porte.*



Vedette - Photo Bazaine Publicité

▼ *Figure 20 : schéma d'un lave-vaisselle.*

**fig. 20**

"radiographie" d'un lave-vaisselle Vedette

Document Bazaine Publicité

ment peu compatible avec le manque de place dont on dispose dans les cuisines françaises. Il faut ajouter à cela qu'il s'agit d'une machine relativement bruyante, et que, jusqu'à ce jour, son prix d'achat est relativement élevé.

### *Principes de fonctionnement*

Le lavage s'effectue dans une cuve fermée, grâce à un jet d'eau rotatif.

Chaque cycle de lavage est composé de plusieurs étapes : prélavage, lavage, rinçage et séchage. La première opération est l'arrivée d'eau commandée par une électrovanne d'admission. Entre l'électrovanne et le réservoir, se situe l'adoucisseur qui traite la dureté de l'eau. L'eau introduite dans le lave-vaisselle est réchauffée dans la cuve pendant le cycle de lavage à 55-60 °C. La mise en mouvement de l'eau est effectuée par une pompe à moteur électrique (pompe d'aspersion) ; l'eau est projetée sur la vaisselle grâce aux bras d'aspersion ou bras rotatifs. L'évacuation des eaux sales se fait par la pompe de vidange.

### Cycle de lavage

La cuve est équipée de plusieurs paniers pour recevoir la vaisselle. Les paniers inférieurs sont prévus pour recevoir verticalement les assiettes ou les récipients culinaires tournés vers le bas. Les couverts doivent être placés dans les corbeilles à couverts. Les verres, les tasses et les coupes doivent être placés dans le panier supérieur, tournés vers le bas pour recevoir le jet d'eau pendant le lavage.

Suivant le degré de remplissage du lave-vaisselle, il est possible d'utiliser le cycle complet (prélavage, lavage, rinçage, séchage), ou bien seulement le prélavage. Ce dernier enlève les résidus d'aliments et les empêche d'adhérer à la vaisselle en séchant, en attendant de finir le remplissage de l'appareil.

- *Prélavage.* D'une durée courte, environ 5 minutes, le prélavage utilise l'eau froide sans la réchauffer. Après le prélavage, l'eau s'écoule par l'intermédiaire de la pompe de vidange.
- *Lavage.* Le réservoir est rempli d'eau froide additionnée du produit de lavage. L'eau de lavage, préalablement chauffée, est mise en mouvement par une pompe d'aspersion. L'eau, retombée dans le fond de la cuve, passe à travers le filtre et est projetée à nouveau sur la vaisselle. L'eau ainsi recyclée et le produit de lavage contribuent à un nettoyage complet de la vaisselle.
- *Rinçage.* Pendant le rinçage, toute la saleté est éliminée de la cuve. Un produit de rinçage est ajouté au moment de la dernière phase, qui élimine ainsi toutes les traces. Le doseur prévu pour le produit de rinçage doit être rempli périodiquement (environ tous les 50 à 80 lavages).
- *Séchage.* A la fin du rinçage, la température de l'eau peut atteindre jusqu'à 70 °C. Pendant le séchage, la température est maintenue à 70 °C à l'aide d'un élément chauffant et permet l'évaporation du reste de l'eau.

### Installation

L'installation d'un lave-vaisselle est assez onéreuse si c'est un installateur qui effectue le branchement d'eau et d'électricité.

Le dessus de l'appareil offre généralement un plan de travail (table top) à la hauteur de 850 mm.

Il est possible d'encastrer la plupart des appareils sous un plan de travail continu. L'encastrement d'un lave-vaisselle diminue considérablement son bruit qui dure tout au long du cycle de lavage (environ 60 minutes) et qui est relativement élevé (entre 50 et 75 décibels).

### Entretien. Adoucissement de l'eau

Contrairement aux États-Unis où les habitations sont équipées d'un système de distribution d'eau chaude adoucie, en France, chaque lave-vaisselle comporte un adoucisseur d'eau, et généralement un corps de chauffe.

L'opération adoucissement consiste à substituer du sodium au calcium pour obtenir du carbonate de sodium qui, étant soluble, ne formera pas de dépôts. Cette transformation de la nature de l'eau est effectuée par le passage de l'eau à travers un corps poreux, une résine, qui se dégrade au cours de cette transformation ; il est donc nécessaire de procéder périodiquement à la régénération de l'adoucisseur avec du sel chimiquement pur.

# PRODUITS TEXTILES ET LINGE DE MAISON

L'expression « linge de maison » désigne certains des produits fabriqués avec des fibres textiles et utilisés dans le cadre de la vie quotidienne. A partir des activités auxquelles ils se rapportent, à savoir la toilette, les repas, le sommeil, nous étudierons la conception de ces produits, leur fabrication, leur commercialisation et leur utilisation, sans chaque fois suivre cet ordre logique.

Nous distinguerons donc :

— le linge de toilette (les serviettes, gants et draps de bain, les peignoirs et draps de plage) ;

— le linge de table (les nappes et serviettes, les sets) et le linge d'office ;

— les parures de lits (les draps, traversins, taies, couvertures).

## *Le linge de toilette*

Il est destiné à absorber l'eau ruisselant sur le corps après la toilette. Pour cet usage, que choisir parmi les principales fibres textiles ?

- *Fibres textiles naturelles*
  - — animales (laine, soie) ;
  - — végétales (coton, lin, chanvre, jute, etc.) ;
  - — minérales (métaux).
- *Fibres textiles chimiques*
  - — artificielles (cellulose, viscose, polynosique, acétate) ;
  - — protéines animales ou végétales (caséine, arachide).
- *Fibres textiles synthétiques*
  - — polyamides, polyesters, polyuréthannes ou élastomères, chlorofibres, acryliques, polypropylènes.

Le choix, établi en fonction des opérations de fabrication, de commercialisation et d'utilisation, s'est porté sur une fibre souple, résistante, douce, absorbante : le *coton*.

## *Le coton*

L'« or blanc » : c'est ainsi qu'était appelé le coton dans l'Antiquité. Pendant des siècles, les voiles obtenus à partir du tissage de cette fibre sont restés des articles de luxe. Ce n'est qu'à partir de l'installation à Rouen, en 1534, de la première fabrique de cotonnade, que l'industrie cotonnière se développe. Elle connaît un grand essor à partir du XVIIIe siècle, avec le développement de l'industrie de l'indienne.

La fibre de coton est le duvet renfermé dans des capsules qui adhèrent aux graines. La plante appartient à la famille des Malvacées. La culture du coton n'a lieu qu'en pays chaud, et la qualité de la fibre dépend de sa longueur. Elle peut aller de 9 à 50 mm, exceptionnellement jusqu'à 70 mm. Les cotons longues fibres de 25 à 50 mm sont les plus recherchés, les cotons courtes fibres de 9 à 25 mm sont d'usage plus courant. Les pays producteurs sont les États-Unis, l'U. R. S. S., la Chine, l'Argentine, le Brésil, le Pérou, l'Inde, le Pakistan, l'Égypte, le Soudan, le Mexique, la Turquie.

Après la cueillette, le coton est séché au soleil afin de faciliter l'égrenage qui séparera le duvet de la graine. Mis en balles, il sera expédié à la filature. C'est là que les fibres de coton, préalablement peignées (longues fibres) ou cardées (courtes fibres), seront réunies par simple torsion : ainsi sera obtenu le coton filé, ou *fils simples*. A partir de deux et parfois trois fils simples fortement tordus, chacun séparément dans un sens, et retordus en sens inverse, seront obtenus les *fils de coton retors* dits à 2 bouts ou 3 bouts. Les qualités principales de ces fils retors sont la résistance, la souplesse et la régularité plus grande, comparés aux fils simples. Afin de reconnaître la grosseur des fils, ceux-ci seront désignés par un numéro métrique (Nm). Celui-ci représente la longueur en kilomètres d'un kilogramme de fils. Plus le numéro métrique est élevé, plus le fil est fin. Par exemple : Nm 50 = 50 kilomètres par kilogramme.

### *Traitements des fibres de coton*

Différents traitements des fils de coton permettent d'en modifier les apparences et d'apporter de nouvelles propriétés.


Roger-Viollet

▲ *Récolte du coton près d'Alanya (Turquie).*

- Le **mercerisage** est une opération qui consiste à plonger le fil tendu dans une solution de soude caustique, afin d'obtenir un brillant qui résiste à toutes les opérations successives et facilite la teinture.
- Le **glaçage** est une opération qui consiste à empeser le fil à l'aide d'une composition d'amidon ou de cire ; l'apparence n'est que temporaire, puisque le traitement disparaît au lavage.
- Le **flambage** est une opération qui consiste à brûler les particules de fibres afin de donner au fil un aspect plus régulier.
- Différentes firmes importantes ont mis au point des traitements qui sont leurs propriétés. Certains produits finis sont ainsi vendus, accompagnés du label justifiant l'utilisation de tel ou tel de ces traitements.
- Le **tissage** (*fig.* 1) est l'opération qui permettra la transformation des fils en un produit fini : le **tissu** est le résultat de cette opération. Il sera obtenu par l'entrelacement de deux séries de fils perpendiculaires entre elles. L'une des séries constitue la chaîne, l'autre la trame, la chaîne ou sens longitudinal du tissu, la trame ou sens transversal. On entend généralement par *fil* le fil de chaîne, par *duite* le fil de trame. Le *compte en chaîne* exprime le nombre de fils de chaîne au centimètre et le *duitage* celui des duites. La *laize* est la largeur du tissu entre les deux lisières.

*Armure d'un tissu :* terme exprimant la façon dont se croisent les fils de chaîne et ceux de la trame. Les armures principales sont de trois types :

— les toiles et dérivés (nattés, cannelés) ;

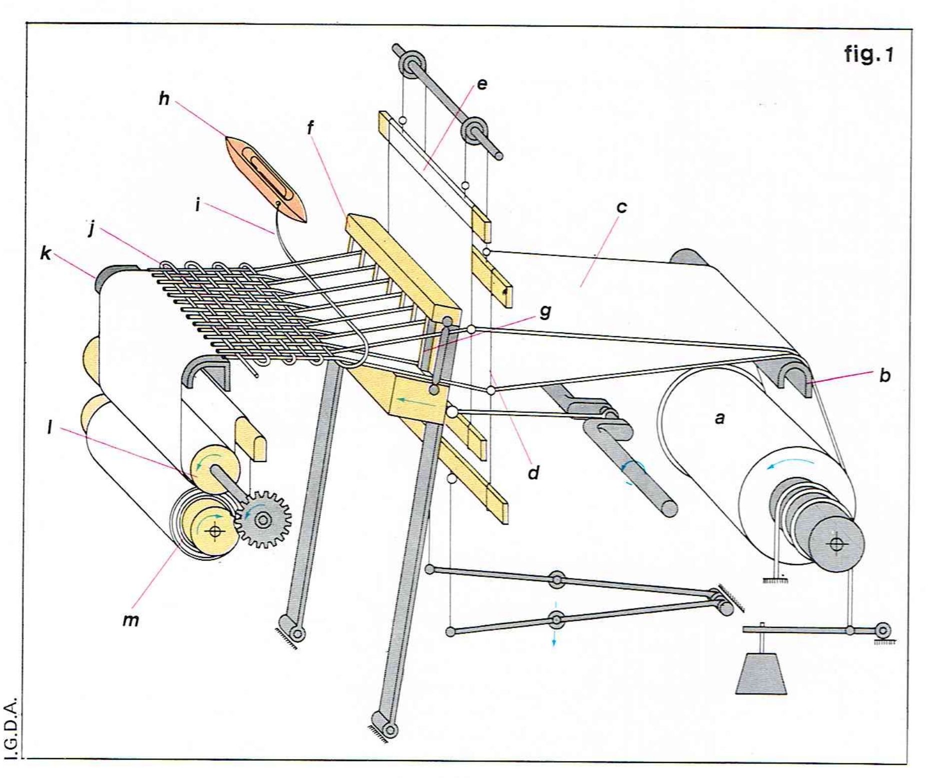
— les sergés et dérivés (chevrons) ;

— les satins et armures diverses, où nous ferons rentrer l'éponge de toilette.

*Ourdissage :* opération préliminaire au tissage, et quelle qu'en soit l'armure, c'est la mise en chaîne des fils ; ceux-ci sont toujours parallèles entre eux, et dans un ordre donné. Le rouleau qui les reçoit est appelé *ensouple*.

Les fils de chaîne, ainsi disposés sur le métier, sont passés dans les maillons centraux de fils métalliques, appelés *lisses*. Celles-ci sont supportées par des cadres appelés lames, et l'ensemble, *harnais*. Le mouvement des lames, l'une supérieure, l'autre inférieure, permet aux nappes de fils de former un angle appelé *foule*. Celui-ci permettra le passage du fil de trame. Le fil de trame (duite) est enroulé sur un tube appelé *canette*, et celle-ci est placée dans une navette dont le va-et-vient constant à travers la foule permettra la contexture du tissu.

Un perfectionnement récent a permis, sur certains nouveaux métiers à tisser, la suppression des navettes. Il s'agit de « machines à tisser » ; le passage du fil de trame




▲ *Figure 1 : schéma d'un métier à tisser mécanique ;* a, *ensouple arrière ;* b *poitrinière arrière ;* c, *fils ourdis ;* d, *lisse ;* e, *lame ;* f, *cadre ;* g, *peigne ;* h, *navette ;* i, *fil de trame ;* j, *tissage ;* k, *poitrinière avant ;* l, *rouleau guide tissu ;* m, *pièce de tissu terminée.*

▼ *Métier à tisser automatique avec carton perforé (programme) pour mécanique Jacquard.*

*Figure 3 : schéma d'un métier Jacquard. Le prisme* C *contient les lamelles du carton perforé* c *; celui-ci permet le passage dans chaque trou d'une aiguille* a. *Le crochet* A *vient s'accrocher sur le couteau* L *qui se soulève en entraînant le fil* F. m *et* s *: lisses.*

I.G.D.A. - De Gregorio

à travers la foule peut être obtenu par une pince fixée sur un projectile (machine à projectile), par une longue lance qui va chercher le fil à travers la foule (machine à lance), par deux aiguilles qui prennent simultanément en relais le fil au milieu du métier (machine à deux aiguilles), par un jet d'air comprimé ou un jet d'eau sous pression qui propulse le fil (machine à jet).

L'avantage de ces machines, en plus de la suppression des canettes, est leur plus grande vitesse. L'armure éponge, dont la caractéristique est la formation de bouclettes, est obtenue par l'apport sur les métiers propres à cette fabrication d'une chaîne supplémentaire dite chaîne de boucles (*fig.* 2).

## *Fabrication du linge de toilette*

Dans le cas du linge de toilette, quatre types principaux de fabrication du produit serviront à diversifier les collections :

— les unis (couleur seule) ;
— les jacquards (dessin obtenu par tissage) ;
— les brodés (dessin obtenu par apport de broderie) ;
— les imprimés (dessin obtenu par apport d'impression).

### *La teinture*

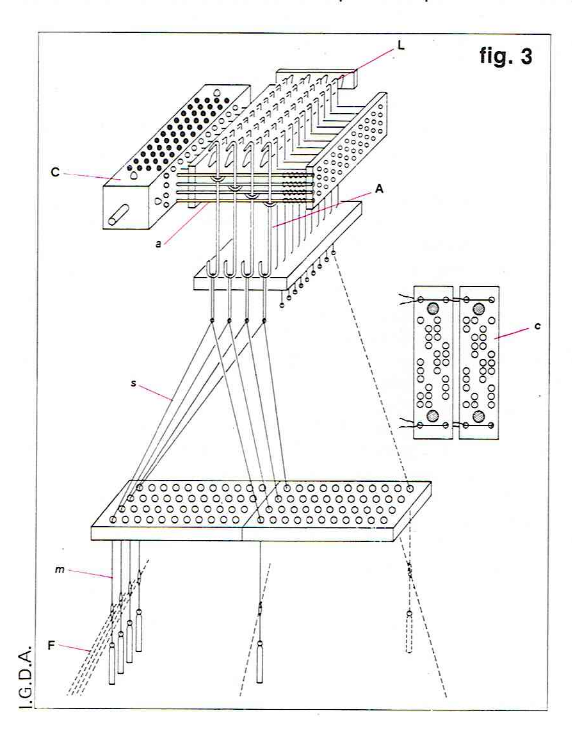
De façon générale, la fabrication du linge de toilette de coloris unis est obtenue au moyen d'une teinture des pièces de tissu. Celles-ci, tissées à l'aide des fils de coton écru (coloris originel), sont préalablement blanchies. Elles sont ensuite plongées à l'aide de rouleaux dans la cuve d'un bain coloré.

Il est aussi possible de réaliser des serviettes de toilette de coloris unis à partir de fils teints. Cette fabrication n'a d'avantage que pour les petites séries, puisqu'il conviendra de procéder à un ourdissage pour chaque couleur ; la réalisation sera donc moins rapide et le coût plus élevé.

### *Le tissage Jacquard*

Nous venons d'exposer les généralités concernant le tissage. Elles sont indispensables à la compréhension de cette branche particulière qu'est le tissage au jacquard.

Cette mécanique doit son nom à son inventeur, Jacquard (vers 1805). Elle peut être considérée comme l'adaptation des métiers de deux de ses prédécesseurs : Falcon et Vaucanson. D'abord manuelle (c'est à partir de 1860 que le métier devient automatique), la mécanique Jacquard est indépendante du métier, elle se déplace au-dessus de lui (*fig.* 3). Elle remplace les lames des métiers à lames, et son innovation est la possibilité de faire se lever chaque fil de chaîne ou chaque groupe de fils isolément. Des séries de cartons perforés permettent cela,



les perforations laissant agir des aiguilles, qui font se lever les fils de chaîne. Ce principe des cartons perforés ressemble à celui des « limonaires » ou « orgues de Barbarie ».

Dans le cas de la réalisation du linge de toilette sur mécanique Jacquard, il convient, avant tout, d'établir un dessin : c'est la composition. Le tracé définitif de ce dessin étant réalisé, il faut procéder à sa mise en carte; à l'aide de celle-ci seront piqués les cartons afin que soit interprétée, en tissu, la création dessinée. Ces opérations sont antérieures au « montage » de la mécanique, qui est la mise en place des différents organes nécessaires à la fabrication d'un article déterminé.

La part prépondérante du « créateur textile » apparaît immédiatement, mais, afin que celle-ci trouve son accomplissement, le créateur doit être aussi un technicien. Continuons donc l'approche technique avant de nous pencher sur le problème de la « création ».

L'exécution d'un dessin nécessaire à la réalisation tissée est en général faite à l'échelle grandeur réelle. Le créateur doit savoir que la technique du jacquard-éponge ne lui permet généralement, dans sa composition, qu'un nombre restreint de possibilités de couleurs. En effet, les fils ne peuvent être que de deux couleurs différentes pour l'ensemble des fils de la chaîne de bouclettes. Cet ensemble peut être divisé en autant de bandes qu'il est souhaité, à condition que ces bandes soient formées de deux couleurs. Celles-ci peuvent être utilisées en toutes sortes de surfaces, selon le dessin.

A ces effets des deux couleurs pures peuvent s'ajouter des effets de mélange, des bouclettes des deux couleurs, ce sont les effets « chinés ». Quand l'une des couleurs de bouclettes est en plus grande quantité que l'autre, on a un effet de nuance différent. Il est ainsi possible d'avoir plusieurs chinés et de les associer de façon à obtenir des ombrés.

Il est également un effet très intéressant que permet le tissage de l'éponge au jacquard, c'est celui de parties où n'apparaissent pas les bouclettes. Ces parties qui restent en tissage plat apparaissent en creux. Utilisé comme contour, soulignant les parties du dessin, cet effet ciselé donne du relief. Il semble logique de n'utiliser cet effet qu'en petites surfaces, le propre de l'éponge étant d'absorber : lui retirer des boucles, n'est-ce pas aller à l'encontre de cette caractéristique ?

Assez souvent, certaines serviettes de toilette sont réalisées avec, à quelques centimètres de chacune de leurs bases, une bande transversale sans bouclette. Cette bande simple ou façonnée est appelée « chef ».

Quand on estime que le dessin a tenu compte de toutes les contingences techniques, qu'il est « mis au point », il convient de procéder à sa mise en carte. Celle-ci est une opération technique, mais elle aussi créative. Son but est la reproduction sur un papier dit de mise en carte, qui est quadrillé. La reproduction du dessin sur ce papier doit tenir compte de tous les effets obtenus par le nombre de fils et l'emplacement mathématique de ceux-ci. Sur ce papier seront indiquées les positions des fils de chaîne et des fils de trame à l'aide de la mise en couleurs, selon un code.

Le metteur en carte doit savoir transposer en respectant la qualité plastique du dessin et employer avec bonheur les différentes armures, de façon à prolonger l'intention créative. De la mise en carte dépend donc la bonne ou mauvaise interprétation du dessin, et à cet égard, le metteur en carte ne doit pas être un simple exécutant, mais également un créateur. La mise en carte réalisée de cette façon semble être actuellement le moyen le plus certain d'arriver à une réussite accomplie de la qualité créative.

Il existe depuis peu de temps une lecture électronique du dessin et de son application à la mise en carte. Cette nouvelle technique beaucoup plus rapide, donc d'un prix de revient moindre, ne semble pas rencontrer toutes les faveurs. Pour exacte qu'elle puisse être, elle laisse peu de place à l'interprétation, au prolongement de l'intention. Il semblerait qu'elle convienne mieux actuellement à des dessins simples, de moindre effet, et dont la maquette, établie de façon définitive, ne peut être améliorée au cours de la mise en carte.

Cette mise en carte terminée, on peut passer à la réalisation des cartons (caractéristique du tissage au jacquard), qui se fait en trois étapes :

— *première opération :* le carton doit être perforé, c'est le piquage ou perçage ;

— *deuxième opération :* le piquage doit être réalisé de façon conforme aux indications de la mise en carte, c'est le lisage ou lecture ;

— *troisième opération :* les cartons doivent être reliés entre eux, c'est le laçage ou le liage.

La stabilité dimensionnelle est indispensable aux cartons, c'est pourquoi ils subissent différentes préparations : le piquage se fait à la main, mécaniquement ou électriquement, trou par trou. Nous rappelons qu'un trou dans le carton permet la levée des fils de chaîne ou un pris ; la mise en carte représente celui-ci par un carreau noir, alors qu'elle représente par un carreau blanc l'immobilisation des fils de chaîne ou un laissé.

L'opération qui permet de transcrire toutes les données de la mise en carte s'appelle le lisage ; celui-ci commence par le bas de la mise en carte et par la première duite. Quand les cartons sont piqués, ils sont numérotés et placés les uns à côté des autres. Ils sont assemblés de façon à former l'ensemble nécessaire à la réalisation tissée, c'est le laçage.

### *La broderie*

La broderie est l'opération qui consiste à superposer à un tissu, initialement prévu pour cela, un dessin réalisé par une aiguille et un fil qui, en passant et repassant, forment des points.

Ces points variés : de croix, de tige, de chaînette, de bourdon, de reprise, etc., sont un nouvel apport au tissage, et font l'objet d'une réalisation supplémentaire. Certaines broderies se font à l'aide de machines multi-têtes qui réalisent certains produits assez rapidement.

### *L'impression*

Ainsi que dans la broderie, l'opération qui consiste à imprimer les produits-éponges consiste à superposer au tissu des couleurs. Il s'agit ici encore d'une réalisation supplémentaire.

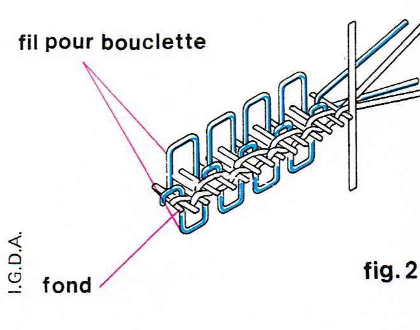
L'impression des tissus remonte aux temps les plus anciens, mais alors il s'agissait le plus souvent d'une peinture ; certaines techniques, comme celle du batik, peuvent paraître très modernes par leur conception. Pratiqué surtout en Chine, en Inde, à Java, le batik consiste à dessiner sur le tissu à l'aide de cire, à tremper ensuite le tissu dans la teinture ; la cire agira ainsi qu'une réserve et empêchera le tissu d'être imprégné par la couleur à ces endroits.

● **L'impression à la planche** donna un essor important à la fabrication des cotonnades et indiennes. La technique consiste à graver une planche de bois, en laissant apparaître en relief les parties du dessin. Ces reliefs recouverts d'une pellicule de couleur, la planche sera appliquée, comme le serait un tampon, sur le tissu. Il faut graver une planche pour chacune des couleurs du dessin. Cette circonstance est très importante, puisqu'elle conditionne le prix de revient et le nombre de couleurs.

● **L'impression au rouleau** (*fig.* 4) : cette technique, moins ancienne que l'impression à la planche, consistait, au début, à graver des cylindres de bois. Ensuite furent utilisés des cylindres de cuivre, puis d'acier. D'abord gravée en relief, la gravure en creux se généralisa. On utilise un cylindre par couleur ; chacun est placé sur le pourtour d'un cylindre central, d'un diamètre plus grand, sur lequel passe le tissu. Celui-ci vient au contact des cylindres imprimeurs sur lesquels la couleur est déposée par des rouleaux encreurs. Une racle ne laisse la couleur déposée que dans les creux des cylindres imprimeurs.

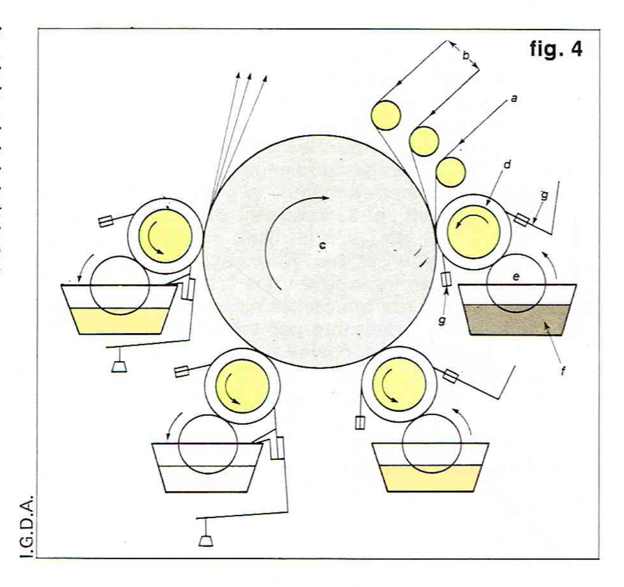
L'opération qui consiste à faire adhérer définitivement la couleur aux fibres du tissu est appelée fixage. Ce fut un grand avantage lorsque cette technique vit le jour vers 1800. Elle consiste à mettre en contact le produit imprimé avec la vapeur d'eau à 100 °C.

● **L'impression au cadre ou à la lyonnaise :** utilisée à partir de 1920, cette technique a beaucoup changé les possibilités de réalisation des articles imprimés. Sur un cadre plat est tendue une toile fine ; les mailles des parties de celle-ci où les couleurs doivent pénétrer restent ouvertes, tandis que les parties où la couleur ne doit pas pénétrer sont obstruées à l'aide d'un vernis. Il faut un cadre par couleur. Chaque cadre




▲ ***Figure 2 : détail de fabrication du tissu-éponge.***

▶ *Figure 4 : impression au cylindre, à quatre couleurs ; a, tissu à imprimer ; b, tapis de dessous, molletonné et absorbant ; c, cylindre support rotatif ; d, rouleur imprimeur ; e, rouleur encreur ; f, récipient contenant le colorant ; g, raclette destinée à supprimer les excès de colorant.*




est appliqué sur le tissu, et la couleur est déposée manuellement à l'aide d'une racle, ainsi que dans l'impression à la planche (*fig.* 5).

* *Le cadre automatique* est le dérivé immédiat de l'impression au cadre manuel. Les cadres se lèvent automatiquement, même avec l'aide d'un programmateur si cela est nécessaire ; le raclage de la couleur est lui aussi automatique, de même que l'avancée du tissu sous les cadres.

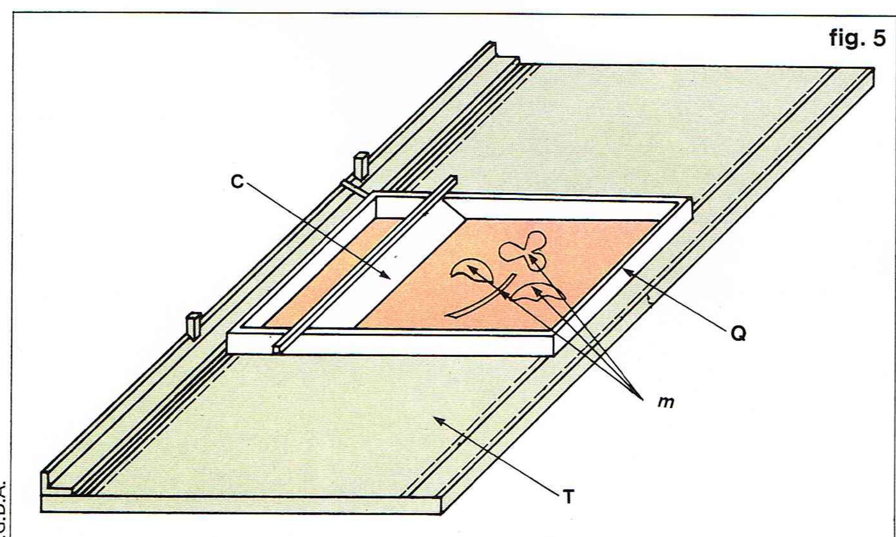
* *L'impression au cadre rotatif :* utilisée depuis 1960, cette nouvelle technique consiste à projeter la couleur à l'intérieur d'un cylindre creux ; elle est répartie à l'aide de racle. Les cylindres sont composés d'une résille métallique, et, ainsi que dans le cadre plat, les parties restent ouvertes ou obstruées, suivant qu'elles doivent ou non recevoir la couleur. Le tissu passe sous le groupe de cadres, un cadre par couleur étant généralement nécessaire.

● **La couleur** utilisée pour l'impression doit être mélangée à un épaississant, afin de ne pas couler lors de son application, et afin d'obtenir des contours d'impression qui soient nets. Cet épaississant disparaîtra lors du fixage.

Bien qu'il se produise constamment des améliorations en ce qui concerne les techniques d'impression et les couleurs employées, il subsiste actuellement deux types de colorants qui fournissent deux qualités d'impression.

* *Les réactifs* ou *fixés-lavés,* qui imprègnent les fibres du tissu, peuvent être considérés comme une sorte de teinture. Ils doivent leur nom au fait que la couleur imprimée va virer après traitement et que l'excédent de couleur va disparaître après lavage.

▼ *Figure 5 : impression au cadre (sérigraphie). T : tissu à imprimer ; Q, cadre sur lequel est tendue la toile fine en rouge, partie de cette toile obstruée à l'aide d'un vernis, en noir, mailles ouvertes (m), formant motif, à travers lesquelles pourra passer le colorant. C : raclette permettant la répartition uniforme de la couleur.*




Ces coloris, qui sont plus solides, d'un touché plus souple que les pigmentaires que nous allons voir, sont aussi plus chers. Ils conviennent, pour cette raison, à des articles de haut de gamme, de marque.

* *Les pigmentaires,* qui déposent une pellicule sur les fibres du tissu, sont moins résistants, moins souples, mais aussi moins chers.

Cependant, selon les dessins, il convient d'utiliser tel ou tel type de colorants ; si un dessin comprend un large fond de couleur unie, celui-ci devra être réalisé en utilisant des fixés-lavés, de façon à obtenir un fond uniforme, souple et solide, ce qui serait très difficile avec les pigmentaires.

● **Technique du transfert :** cette nouvelle technique, qui fait penser à la décalcomanie, consiste, à l'aide d'un dessin imprimé sur un papier, à transférer celui-là sur le tissu à l'aide d'un pressage à chaud (200 °C) pendant 20 secondes. Cette technique particulièrement intéressante ne peut être utilisée que dans le cas des tissus de fibres synthétiques. Un de ses avantages est que toutes les couleurs se déposent en même temps. Ce procédé est surtout utilisé dans les tissus d'habillement.

Nous nous apercevons, après cet exposé concernant l'impression, que, pratiquement, tout dessin peut être reproduit ; mais ce qui est primordial, c'est le nombre de couleurs. En effet, les frais d'investissement occasionnés par la gravure d'un dessin, auxquels s'ajoutent les frais d'impression (plus il y a de couleurs, plus ils sont élevés), peuvent rendre un produit si cher qu'il sera invendable.

Nous parlerons, au moment opportun, de la préparation des dessins propres à l'impression. Nous avons abordé les principes généraux des possibilités actuelles de réalisation de l'éponge de toilette, voyons à présent la conception même de ce produit.

## Conception du produit

La firme qui fabrique et qui commercialise des articles de linge de maison est tenue de constituer des collections. Des échantillons de ces collections seront présentés aux responsables (acheteurs) des différents points de vente. Ces collections doivent faire l'objet d'études approfondies, avec l'aide de créateurs formés pour cela ; lorsqu'elles sont conçues sans leur apport, elles ont des résultats souvent médiocres. Les créateurs sont, en général, de deux sortes : ceux qui fournissent des idées, donc des dessins, et ceux qui envisagent la conception d'une façon plus totale. Cette démarche porte un nom, le « design » ; trop souvent, l'emploi de ce mot est compris par le public comme synonyme de « carrosserie aérodynamique d'un objet ». Il s'agit bien plutôt d'une sorte de philosophie, dont la démarche a pour buts la conception du produit idéal et la conception idéale du produit. Pour ce faire, la connaissance de toutes les données est nécessaire.

Tel fabricant s'est assuré les services de tel designer (dans la profession, il est appelé le plus souvent « styliste »). Ils ont choisi, en accord avec la direction commerciale, le ou les sortes de produits à réaliser. Il pourra s'agir de produits vendus avec l'apport d'une marque, ou de produits anonymes, de ventes nationales, de ventes à l'export, de produits vendus chez des spécialistes, par les grands magasins, par les hypermarchés, par correspondance, etc.

Chacun de ces points, entre autres, doit être étudié à cause de sa spécificité propre. Si nous prenons l'exemple de la vente par correspondance à l'aide de catalogues, la « photogénie » de l'article est indispensable. Suivant les points envisagés, le prix de l'article joue un rôle important. Ainsi, un produit de « marque » trouvera son acquéreur à un prix relativement plus élevé qu'un produit anonyme. Pour toutes ces raisons, entre autres, le designer établira son plan de collection et la date de sortie de celle-ci.

Une date reste impérative en ce qui concerne le marché national et le linge de maison : la réclame de blanc qui a lieu pendant le mois de janvier. Depuis un siècle, cette réclame, installée par la distribution à une époque creuse de l'année, puisqu'elle succédait au mois des cadeaux, est restée implantée dans les magasins. Mais c'est un an avant cette mise en place des articles que les collections sont présentées.

Le designer, ayant établi son plan de collection,

commence d'œuvrer. Un des éléments principaux dont il devra tenir compte est la gamme de coloris des filés. Il devra établir les nuances et leur nombre, comparer ses propositions aux résultats des bains de teinture. Bien entendu, cette gamme de coloris devra être d'actualité et correspondre aux besoins de la tendance à la mode. Il s'agit bien d'une gamme dont la justesse et l'équilibre pourraient se comparer à l'accord des notes d'un instrument. Le nombre de couleurs d'une gamme idéale de filés se situe entre vingt et trente. C'est à partir de ces coloris et de cette gamme que seront réalisés les dessins tissés au jacquard.

Le plan de collection aura déterminé le nombre de ceux-ci, qui varie selon l'importance des firmes et aussi les besoins du marché. Ceux-ci peuvent dépendre de la conjoncture, des stocks d'invendus, des tendances de la mode et des endroits de commercialisation (spécialistes, grands magasins, hypermarchés, etc.). N'arrêtons pas notre investigation au côté trop restrictif d'une fabrication limitée. Considérons plutôt le cas d'une firme réalisant toutes les sortes de produits-éponges. L'équilibre de la collection est dû, en grande partie, au prix de vente des articles. Celui-ci dépend du poids, suivant la contexture ou compte de fils du produit, des dimensions, du pourcentage de fils couleurs et de l'apport de réalisations techniques supplémentaires (broderie, impression). Plus une serviette de toilette est légère, moins son tissage est serré, moins elle est chère. Elle est d'autant plus chère qu'elle est plus grande. A ce sujet, la variété des tailles, en France, est très étendue. Une taille de serviette de dimensions rationnelles prend une bonne place sur le marché européen : le 50 × 100 cm.

Une serviette de toilette réalisée en deux couleurs foncées sera d'un prix plus élevé que si elle était réalisée avec du blanc à cause du coût de la teinture : plus le coloris est foncé, plus il est cher. Le prix des filés teints peut varier de façon très importante suivant la provenance du pigment. Ces constatations parmi d'autres permettront le choix des dessins et leurs attributions à tel ou tel type de qualité.

La réalisation d'un dessin fait au jacquard étant prête, le designer doit procéder au choix des variantes de coloris. Il se servira de la gamme dont nous avons situé l'importance considérable. Toutes les notions d'associations colorées sont valables, mais à certain dessin conviendra une harmonie de camaïeux de tons pastel, tandis que tel autre dessin sera traité en couleurs et blanc, etc. Ce choix précisé, il faut trouver les deux variantes complémentaires ; en effet, d'une façon générale, trois variantes de coloris sont nécessaires à la commercialisation des articles qui concernent le linge de maison.

La serviette-éponge qui sert de base de présentation à une collection est presque toujours vendue accompagnée des autres produits textiles nécessaires à la toilette, le gant, le drap de bain, le peignoir.

Deux formes de gants sont utilisées en France : le gant rectangulaire de dimensions 15 cm × 22 cm et le gant ovale avec un poignet latex. Dans ces deux cas, le gant paraît très adapté. Certains pays étrangers utilisent un carré de tissu-éponge qui est enroulé autour de la main ; celui-ci paraît infiniment moins pratique. Le drap de bain est l'équivalent d'une grande serviette de toilette, il permet d'envelopper le corps et donc de faciliter l'absorption lors de la sortie du bain ; ses dimensions moyennes sont de 80 cm × 130 cm. La serviette d'invité ou petite serviette ainsi que le peignoir font aussi partie, parfois, de l'ensemble des produits textiles en éponge de toilette. Mais ces points peuvent être situés après une sélection faite par un magasin, et donc complétés après la sortie de collection, dont l'élément majeur est la serviette.

L'ensemble des articles proposés peut être très varié, dans une collection d'éponges de toilette : une gamme d'unis, de préférence coordonnée avec les dessins, de façon à créer des ensembles, des rayés, des carreaux, des rayures ornées en bas de gamme, des petits jacquards blanc et ton pastel ou de deux tons pastel, en qualité moyenne, des grands jacquards, beige et couleurs et des tout-couleurs, des serviettes velours (bouclettes rasées), des tissus au mètre pour les peignoirs. Ce n'est ici qu'une vision étroite et momentanée des possibilités de construction d'une collection de linge-éponge destinée à la toilette.



Document Blangil

▲ *Linge de toilette : selon les modes, les unis peuvent s'assortir aux fleurs ou aux motifs géométriques (création Roville - éponge, garantie Blangil).*







Roger-Viollet



◀ *Affiche pour une exposition de blanc au magasin des Nouvelles Galeries à Marseille.*



P. Hinous - TOP

◀ *La serviette éponge assortie aux couleurs de la salle de bain est un élément décoratif apprécié.*

Chaque fabricant est amené actuellement à réaliser une deuxième collection, celle du « drap de plage », les dates de sortie de cette collection se situant pendant les mois de juin et juillet. Après l'utilisation des collections, il est nécessaire de procéder à leur critique en fonction des futures collections, et d'aligner la conception sur les besoins du marché et sur les tendances de la mode.

### *Le marché du linge-éponge*

Parmi les différents produits appelés « linge de maison », l'éponge, produit indispensable, s'adresse donc à plusieurs marchés : le linge de toilette, l'éponge cadeau, le peignoir, le drap de plage. Le marché de ces produits est en évolution constante; deux transformations importantes de notre époque ont aidé les réussites commerciales : l'amélioration de l'équipement sanitaire dans les anciens logements, mais surtout la construction importante de nouvelles habitations et donc de salles de bain. La consommation du linge de toilette se trouve ainsi forcément accrue par les nouvelles habitudes de vie; l'hygiène obtenue par le bain est de celles-là.

Autrefois, les achats de linge de maison se faisaient sous la forme d'un « trousseau » utilisé la vie durant. La diversité des collections, les nouveaux dessins, les nouvelles couleurs ont développé les impulsions d'achat.

S'il subsiste une période culminante des ventes, celle du blanc, le linge-éponge, grâce à la diversification des produits, est vendu toute l'année. Un marché qui prend une certaine place, actuellement, est celui de la boîte cadeau. Les qualités décoratives de l'éponge permettent des présentations très inattendues et des cadeaux personnalisés. Les créations nécessaires à ce marché iront sûrement en se développant : les coordonnées par deux ou plusieurs serviettes, par exemple.

Le marché du peignoir se trouve, lui, renouvelé par l'amélioration du produit; le peignoir de bain classique et traditionnel cède le pas à un article plus élaboré : le « homewear ». Bien qu'utilitaire, le peignoir de bain a tendance à devenir un vêtement d'intérieur, à s'intégrer parfaitement dans l'habitat.

Le tourisme, les loisirs, les vacances au bord de l'eau ont permis le développement d'un produit approprié à ce genre d'activité : le drap de plage. Le marché devient de plus en plus important; il suit en cela les besoins, eux aussi importants, d'évasion, de vacances. Nous verrons, quand il s'agira de la mode, que les sources d'inspiration et de création de ce genre de produit sont totalement différentes de celles de l'éponge toilette; les tailles de ces draps de plage le sont aussi, et sont très diverses selon les prix à atteindre; ils sont réalisés, parfois, en de très grandes dimensions. La taille « moyenne » étant de 80 × 130, de très beaux draps sont réalisés en 90 × 180.

La France importe annuellement le quart de sa consommation d'éponge. La première fabrique européenne est allemande; elle utilise 30 tonnes de coton par jour, elle tisse 130 000 serviettes de toilette, et 5 000 peignoirs par jour. La première fabrique française tisse 11 000 serviettes par jour. Cette différence énorme, en ce qui concerne la fabrication, laisse cependant une place aux produits français. La conception du produit, grâce aux créations sans cesse renouvelées, est surtout bien adaptée aux goûts spécifiques du pays.

### *La mode*

Il n'est plus possible de concevoir à notre époque une collection sans tenir compte de l'influence importante de la mode dans le linge de maison. Elle est dirigée actuellement par les coloris et les dessins. Il est d'ailleurs intéressant de constater qu'un dessin quelconque aux jolies couleurs sera mieux apprécié qu'un beau dessin de coloris quelconque. Cette orientation de la mode peut être donnée par le prolongement d'une idée, d'une tendance, mais ce peut être aussi une rupture due à un genre qui a trop duré, qui a été trop vu.

Ainsi en est-il de certaines couleurs. Tous les dix ans environ, le coloris orange réapparaît, puis disparaît. Intense, il appartient à la famille des coloris vifs. Ces coloris, très utilisés dernièrement, se trouvent remplacés actuellement par des coloris plus neutres, plus rompus, dans le linge de toilette et le peignoir. Ainsi sont apparus les pastels subtils (champagne, vert d'eau, beige rosé, jaune paille), les tons naturels (écru, chanvre), les grisés, les sorbets (vanille, pistache, melon, fraise), les tons « masculins » (roux, tabac, marine). Le remplacement des coloris vifs, dans le linge de toilette, par des coloris subtils, trouve son équivalent dans le style des dessins. Les dessins de grands motifs sont remplacés par des motifs plus petits, plus sobres aussi, et souvent d'inspiration « rétro ». Ce retour au passé, pour intéressant qu'il soit, laisse cependant un regret, celui d'une époque en quête de son style.

Quand, aux environs des années 1960, ont été créés les dessins géométriques, ils apparaissaient comme d'inspiration contemporaine : la démarche suivait celle du mobilier. Assez vite, ces dessins furent remplacés par des fleurs géométriques qui pouvaient faire penser aux années 1925-1930, à l'exposition « arts déco ». Si, après cela, la tendance à une inspiration plus sobre et plus subtile s'explique, le fait qu'elle soit plutôt passéiste est moins explicable. Bien sûr, dans les collections se trouvent des unis, des faux unis obtenus par effet de tissage et aussi certains dessins géométriques. Mais la multiplicité des dessins Jacquard est surtout d'inspiration florale à l'ancienne : faut-il voir là les besoins du marché, et le souhait presque général des consommateurs de se meubler en styles anciens? La mode du vêtement, tellement diversifiée actuellement, il est vrai, semble suivre la même voie. Peut-être ce retour au passé est-il lié au mouvement écologiste? Le retour à la nature et la vie au naturel semblent à notre époque une profonde nécessité. Il faut aussi constater que, très souvent, les créateurs des styles anciens se sont inspirés directement des siècles qui les avaient précédés. Ainsi la mode se réfère-t-elle souvent à des personnages, des faits, des lieux marquants, afin de créer l'orientation du moment.

Nous voyons ainsi combien est importante la part de la mode dans ces produits, non seulement d'ailleurs au sujet de l'inspiration des dessins, mais de celle des couleurs, de celle du genre de tissage et des types de fabrication. En ce qui concerne les genres de tissage, si la bouclette reste l'élément majeur, la hauteur de celle-ci et sa densité sont d'importance première. A cause sans doute des achats d'impulsion, il est curieux de constater que, hormis les unis, il se vend surtout du décor en éponge de toilette. Où apparaît le mieux ce décor? Sur une bouclette dense. Pourtant, plus la bouclette est dense, et moins la serviette a de pouvoir absorbant. C'est le cas précisément du velours, qui trouve son emploi très bien adapté au peignoir. Il fait de très belles serviettes, dont le pouvoir absorbant n'est pas la qualité première.

Les types de fabrication dépendent aussi de la mode, les unis et faux unis s'exprimant par la couleur et la qualité du tissage. Les jacquards permettent dans ce produit, l'éponge, nous l'avons vu, de très belles réalisations. L'avantage est aussi d'avoir un envers à peine différent de l'endroit, d'où l'appellation de double face.

La broderie est d'un apport heureux dans des articles raffinés, sous forme de bourdons, de monogrammes, etc., où, bien entendu, elle n'est utilisée qu'en petites quantités, compte tenu des coûts de réalisation et du temps nécessaire à celle-ci.

L'éponge imprimée reste plus difficile d'emploi en ce qui concerne la serviette de toilette. Cette technique n'est sans doute pas celle qui convient le mieux à ce produit; en dehors des difficultés à imprimer les bouclettes, il peut paraître assez illogique de surcharger celles-ci d'un colorant qui ne vieillira pas aussi bien qu'elles. Peut-être son emploi est-il plus facile dans les tissus au mètre, destinés aux peignoirs.

Les draps de plage, nous l'avons vu, sont conçus pour les vacances, le soleil, la mer; ils sont d'une fantaisie souvent exubérante, presque toujours traités dans des coloris vifs. Ce sont, en tous les cas, ces coloris qui sont les plus appréciés. Deux couleurs dominent les ventes : le rouge et le bleu marine. Les dessins qui servent à ces articles sont presque toujours figuratifs; tous les objets ou attributs de la marine font partie des « classiques ». Le drap de plage peut être traité comme une affiche, une illustration, un poster. Les thèmes employés sont variés à l'infini, les paysages marins, les folklores, les animaux marins et sauvages, les sports, les personnages, etc., de préférence réalisés en jacquard, souvent avec effet de plusieurs chinés. Certains draps de plage sont aussi réalisés en impression sur des bouclettes, rases de préférence.



E. Berne - Fotogram

◀ *Les couleurs chaudes réalisent 80 % des ventes, notamment en ce qui concerne le linge de table.*

▼ *Les firmes sont tenues de constituer, pour le linge de maison, des collections dont les dates de sortie sont impératives. Ici, service de table (garantie Blangil, création de la Linière de Gérardmer). Service de table en coton tissé teint armure natté (garantie Blangil, marque J.M.D., création Dermurger).*

## Le linge de table

Le décor de la table sera le plus souvent apporté par un produit étudié à cet effet : le linge de table.

Ici aussi, la première étape de l'étude de ce produit consiste à faire un choix parmi les fibres textiles ; il est toujours établi en fonction des opérations de fabrication, de commercialisation et d'utilisation. Le coton, bien sûr, entre pour une large part dans la fabrication des nappes, serviettes et torchons, le lin, le métis (mélange de deux fibres). Les fibres textiles chimiques ou synthétiques trouvent ici un emploi tout indiqué ; leur entretien facile pour le lavage et le repassage est un grand avantage. De même que l'éponge de toilette, le linge de table est réalisé en tissage, unis, rayés, carreaux, en jacquards et damassés, en brodés, en imprimés, dans un nouveau produit : le textilisé ou non-tissé, avec l'apport de teinture ou d'impression.

Les firmes qui fabriquent et commercialisent le linge de table sont, sans doute, plus diverses que celles qui fabriquent le linge-éponge. Suivant qu'elles se trouvent dans telle ou telle région de France, elles ont une vocation, une façon différente de réaliser les articles : le linge des Vosges, le linge basque, celui de Normandie ou de Cholet, de la région roennaise ou provenant du Nord ont gardé chacun ses particularités. Les demandes des clients sont souvent précises à ce sujet. Ainsi en est-il du linge basque, dont la réputation n'est plus à faire ; ce genre d'articles est réalisé dans d'autres régions, mais seuls les fabriquants basques bénéficient de l'appellation « linge d'origine basque ».

Quoi qu'il en soit, les firmes sont tenues également de constituer des collections dont le processus de présentation est le même que celui du linge de toilette et du linge de maison en général. Nous l'avons vu, cela implique des dates impératives de sortie des collections.

Ainsi que pour le linge de toilette, le « designer » chargé de la conception doit envisager un plan de collection ; celui-ci pourra être différent suivant la situation géographique de la fabrique, nous venons de le voir, suivant les possibilités de la fabrication et les investissements en matériel, ou certaines reconversions et les nécessités du marché.

Quelques firmes ont changé de cette façon le type d'articles qu'elles fabriquaient en changeant leur matériel. C'est ainsi que, se trouvant devant le renouvellement des batteries de métier à tisser, un fabricant a préféré monter à leur place une unité d'impression, de blanchiment et d'apprêts. Le produit fini n'est plus un tissé, mais il est devenu un imprimé, réalisé sur des tissus écrus, achetés.

Nous le verrons, les tendances mode influencent aussi le plan de collection pour ce produit. Il est impossible qu'une fabrique de linge de table réalise tous les produits actuellement sur le marché ; aussi nous proposons-nous de ne voir que les principaux.

Le « designer » qui aura la responsabilité d'une collection de linge de table en « tissés-teints », dessins obtenus



Document Blangil



Document Blangil



R. Guillemot - TOP

▲ *Les sets de tables, très utilisés dans d'autres pays, sont un peu délaissés en France, (ici, décoration Thibier).*

par tissage simple ou jacquard, devra aussi construire une gamme de fils dont il se servira pour les réalisations des dessins. S'il doit composer une gamme d'unis, ceux-ci seront le plus souvent réalisés par bains de teinture.

● **Le tissage :** en bas de gamme, une grande quantité de dessins sont réalisés en tissage simple, sous forme de carreaux ; le plus souvent, ce sont des carreaux vichy (carreaux de couleur et carreaux blancs), des carreaux écossais (carreaux multicolores), des carreaux madras (carreaux irréguliers), et beaucoup d'autres. En montant, nous trouverons le genre dessins basques, le plus souvent à fonds unis sur lesquels, en tissage Jacquard, seront comme apposées des sortes de broderies. En général, le tissu sur lequel sont réalisés ces dessins est composé d'une armure toile ou natté (accouplement de plusieurs fils). Un autre type de dessin est obtenu par variations et associations de plusieurs armures ; ainsi, l'apport de bandes satin sur un fond toile. Il existe de très nombreuses possibilités de réalisations tissées ; à cette diversité s'ajoute aussi la nature de la fibre, qui changera le produit, son prix et son utilité.

● **La broderie** trouve dans le linge de table une utilisation à laquelle elle convient parfaitement. Bien entendu, il ne s'agira pas d'articles premier prix. L'apport de la broderie peut aller de la nappe « utilitaire » avec des broderies simples, à la nappe « habillée », en macramé.

● **L'impression :** depuis l'utilisation des techniques aux cadres plats ou rotatifs, la souplesse d'utilisation de l'impression a rajeuni considérablement les collections de linge de table. Ces techniques sont adaptées parfaitement à ce type de produits.

● **Le non-tissé** ou **textilisé :** à partir des fils groupés par traitement mécanique ou chimique, sont réalisées des surfaces qui, dernièrement, ont été commercialisées en linge de table. La fabrication se fait sous deux formes :

— *la voie papetière* ou *humide :* les fibres en suspension dans l'eau sont liées entre elles par un épaississant, l'ensemble est disposé sur une toile qui absorbe l'eau ;

— *la voie textile* ou *sèche :* les fibres sont disposées sur des cylindres munis d'aspirateurs d'air ; un produit chimique liera les fibres entre elles.

Le linge de table réalisé à partir de ces nouveaux supports est teint ou imprimé. S'il ne supporte qu'un nombre limité de lavages, son prix est moins élevé que celui d'un tissage ; autre avantage, ce produit est utilisé sans ourlets ou ganses nécessaires aux produits tissés. La promotion et la commercialisation des nappes en non-tissé n'ont pas été bien faites. Ces nappes ont été mises en vente le plus souvent avec celles en papier. La nouvelle appellation « textilisé » et la commercialisation actuelle d'articles indéchirables, dont la durée d'utilisation est bien plus longue, devraient permettre au produit de mieux se situer.

## Conception du produit

Le linge de table comprend différents produits :

* *Les nappes :* qu'elles soient réalisées en tissage, brodées ou imprimées, elles sont toujours confectionnées à partir d'une pièce de tissu, la laize, devenant la largeur de la nappe. Cette largeur varie suivant la qualité de l'article de 130 à 180 cm, la largeur courante étant 150 cm. La longueur est fonction du nombre de couverts ; les dimensions courantes sont : les 6 couverts 150 × 150, les 8 couverts 150 × 200, les 12 couverts 150 × 250. Il faut ajouter à ces trois dimensions la nappe ronde, le plus souvent de diamètre 180, et parfois des nappes ovales. La nappe 8 couverts 150 × 200 est la nappe la plus répandue. Mais la nappe ronde est de plus en plus demandée ; elle doit sans doute son essor aux ventes de tables rondes, très appréciées actuellement.

* *Les serviettes de table :* certaines nappes sont vendues sans serviettes mais plus rarement que l'inverse, les serviettes vendues à l'unité font un bon chiffre de vente, qu'elles soient unies ou à décor, tissées ou imprimées. Les serviettes dont le décor est assorti aux nappes, pour former un ensemble (le service de table), font les meilleures ventes. Une dimension est devenue standard : 50 cm × 50 cm. Très souvent, l'utilisateur doit se baisser et ramasser cette serviette, tombée au cours du repas à cause de son étroitesse. Il est très difficile de faire changer ces tailles, cependant qu'une serviette de 60 cm × 40 cm, donc de surface moindre, serait tellement plus adaptée.

* *Les sets de table :* très utilisés dans d'autres pays (au début ils étaient appelés « sets américains »), ils sont délaissés en France. Ces petits napperons, de format courant de 35 cm × 45 cm, sont cependant extrêmement pratiques.

### La mode

La mode et ses tendances influencent aussi le produit linge de table ; l'évolution s'est faite ces dernières années surtout vers les dessins imprimés. Les chiffres suivants, pour fluctuants qu'ils soient, donnent une vision cependant assez précise du marché du linge de table : ventes 40 % d'unis, dont 4 % de blanc, 9 % de clairs, 27 % de vifs, 16 % de tissés, 2 % de rayés, 7 % de carreaux, 7 % de jacquards, 44 % d'imprimés.

Actuellement, la tendance du retour au naturel, au folklore, voit la nette remontée des unis, des tissés teints, des jacquards, des damassés et des brodés. L'utilisation des fibres naturelles suit cette évolution parfois avec des mélangés, ainsi le 50/50 (coton et polyester). Le choix des dessins, fait en fonction des tendances, l'est aussi en fonction de la destination du produit et suivant son usage, et bien entendu, adapté à la forme de la nappe. Suivant les circuits commerciaux, suivant le choix de la fibre, les dessins diffèrent.

Le problème de choix des dessins est mêlé de façon étroite à la mise au point de ceux-ci et aux variantes de couleurs. En ce qui concerne ces dernières, leur utilisation dans le cadre du linge de table est assez précisée. Les couleurs chaudes, rouge, orange, jaune, roux, brun, etc., doivent faire 80 % des ventes. Si ces couleurs chaudes sont les plus vendues en linge de maison, la différence est encore plus nette en ce qui concerne la table. Nous savons que les couleurs chaudes permettent une digestion plus facile, et le fait est que les aliments ne sont jamais de la couleur la plus froide.

La mise au point des dessins joue un rôle important dans la réussite des collections ; trois types de dessins servent à réaliser le linge de table, le dessin continu avec raccord, dans lequel seront coupées les nappes et les serviettes (carton ou gravure unique), le dessin placé avec ou sans raccord. Dans ce dernier cas est réalisé le dessin qui convient à chaque type d'articles. De même, sont réalisés séparément les cartons ou les gravures qui conviennent aux nappes et aux serviettes. Le troisième type est le nappage à la fois continu et placé, obtenu en plaçant des dessins de serviettes les uns à côté des autres, à raison de trois serviettes à la largeur (carton ou gravure

unique) ; la répétition de 9 serviettes permettra de confectionner la nappe 6 couverts, 12 serviettes la nappe 8 couverts, 15 serviettes la nappe 12 couverts.

Le marché du linge de table est très complexe, beaucoup plus difficile à cerner que celui du linge-éponge. Il faut considérer que, pour utilitaire que soit ce produit, il n'est peut-être pas tout à fait indispensable. En effet, les toiles cirées, les nappes de papier et le traitement des bois, les tables en lamifiés ou stratifiés, etc., permettent de prendre un repas sans nappe textile.

## Le linge d'office ou torchons

Après avoir parlé du linge de table, il est logique de s'intéresser au produit destiné à essuyer la vaisselle : le linge d'office ou torchons.

Le choix concernant les fibres qui entrent dans la composition des torchons est assez simple, puisqu'il s'agit presque essentiellement du coton et du lin ou du mélange des deux fibres, le métis.

### Le lin

Après le regard que nous avons porté sur le coton, voyons le lin, qui est aussi d'origine végétale. Les fibres se trouvent placées dans les tiges de la plante. La décomposition des différentes parties de la tige sera obtenue par le rouissage, qui consiste à immerger les bottes de lin. Diverses opérations permettent ensuite d'éliminer les parties non textiles et d'obtenir une filasse qui sera dirigée vers la filature. La commercialisation du lin « pur fil » est accompagnée du label « fleur bleue », couleur de la fleur du végétal.

De même que les deux produits linge de toilette et linge de table, les torchons sont réalisés en tissage rayés, carreaux, jacquards et aussi en imprimés, ou encore en « malimo », qui n'est plus un tissage mais un tricotage obtenu à l'aide de machines spéciales.

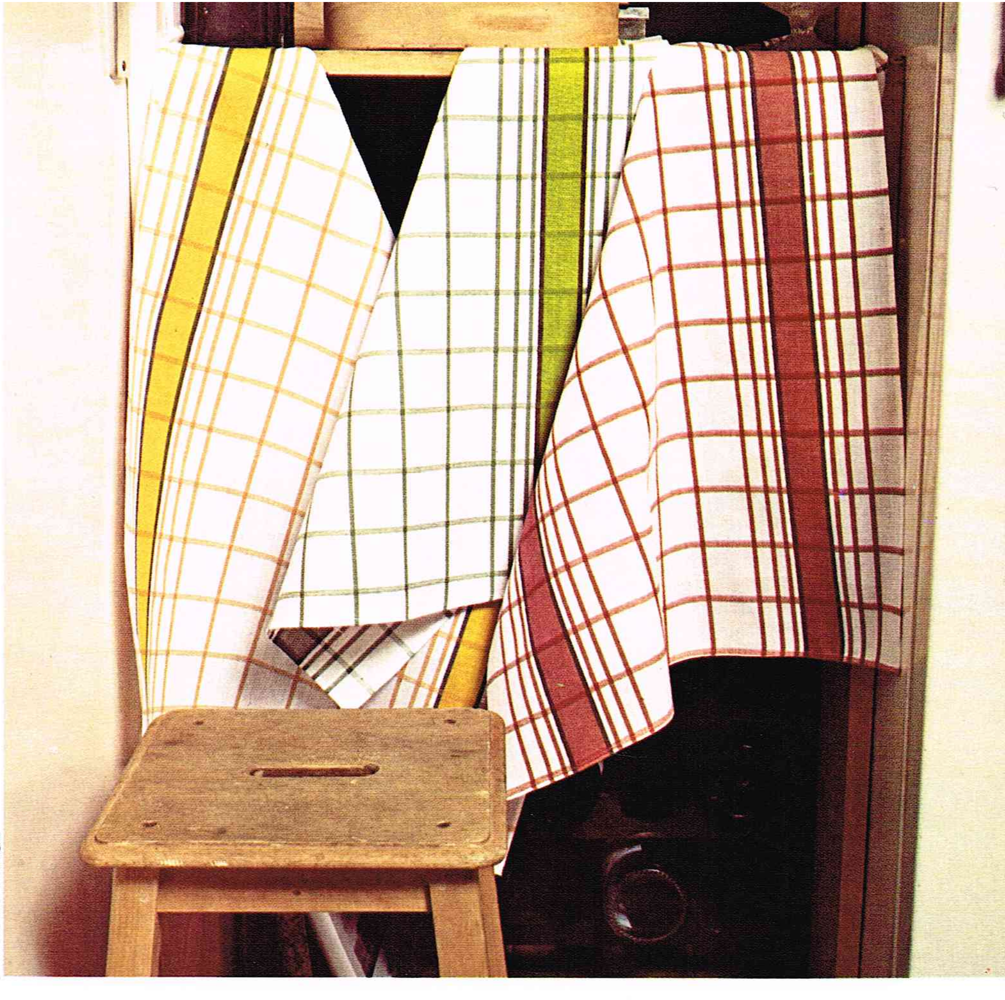
Il se fabrique des torchons dans les différentes régions de France, les mêmes que pour le linge de table.

Cet article implique aussi une étude très particulière et approfondie de la part du « designer ». Il y a une vision très caractéristique du torchon, dont le classique rayé à liteaux rouges est typique du genre. Les fantaisies tissées sont nombreuses tant en rayés qu'en carreaux; cependant, les coordonnées par trois sont très rationnelles, à savoir l'essuie-vaisselle, l'essuie-verres et l'essuie-mains. Les formes d'approche de ces trois types de produits varient à l'infini, aussi bien en ce qui concerne le choix des fibres que celui du tissage, des dessins et aussi des tailles, la taille courante étant de 50 × 75 cm. Les dessins, apparentés, seront suffisamment différenciés pour faciliter l'emploi de ces torchons.

Le lin conviendra parfaitement au torchon essuie-verres, fibre sans peluche, le pur fil est idéal pour cet emploi. Depuis quelques années, conjointement aux torchons à tissage classique de fils simples, sont commercialisés des torchons à fils irréguliers ou fils floches, dont le tissage, moins serré, est composé d'armures différentes afin de permettre une absorption meilleure : le « malimo » a ces qualités. Les absorbants, très appréciés, ont toutes les qualités demandées aux torchons.

Vers 1950 furent commercialisés les premiers torchons imprimés. Les premiers dessins adaptés au décor de cuisine, très graphiques, bien que de thèmes variés, plaisaient beaucoup. La décadence arriva vite, quand le marché se trouva envahi de dessins « chromo », avec les thèmes : coins de feu, cuivres étincelants, biches au bois, jusqu'à la copie de *la Joconde*. Il n'était pas rare de voir accrochés ces torchons sur les murs, ainsi que des tableaux. Le produit ne correspondait plus à son utilisation. Le temps a passé, il se refait du torchon imprimé de conception utilitaire, avec des dessins adaptés, et il se vend bien.

Il faut cependant envisager la question posée à la fabrication et à la distribution : existera-t-il encore des torchons en l'an 2000?... L'ensemble du marché utilise annuellement environ dix millions de mètres carrés de torchons représentant 2 500 tonnes de matières textiles. Il apparaît que 10 % seulement des foyers français sont équipés de machines à laver la vaisselle. L'utilisation de telles machines ne supprime pas, heureusement, l'habitude d'essuyer la vaisselle et les verres afin de les rendre étincelants. Par ailleurs, le torchon a, dans la cuisine, de multiples usages (essorer la salade, sortir un plat du four, etc.), pour lesquels les essuie-papiers ne peuvent le remplacer; ajoutons qu'il fait partie du décor traditionnel. Tout cela lui confère une personnalité, et celle-ci devrait continuer à le rendre indispensable.



Document Blangil

▲ ***Les fibres qui entrent dans la composition des torchons sont surtout le coton, le lin et un mélange des deux : le métis. Ici, torchons coton armure sergé, marque Phénix (garantie Blangil).***

## Les parures de lit

Les fibres textiles choisies à l'origine de la création de ce produit sont surtout : le coton, 78 %, le polyester mélangé, 16 %, et les fibres diverses 6 %.

Les parures de lit sont réalisées en unis, en tissés, rayures, carreaux, en brodés, en imprimés. Les firmes qui fabriquent et commercialisent ces produits sont nombreuses et diverses par leur importance. Il s'agit d'un marché extrêmement vaste dont la production nationale annuelle avoisine les 30 000 tonnes, soit plus de 20 000 000 draps. A ces chiffres importants s'ajoutent ceux des importations (presque 1/4 en plus). Les firmes productrices se trouvent surtout situées dans le nord et l'est de la France.

Ainsi que dans les autres produits du linge de maison, le « designer » ou « styliste » envisage un plan de collection; ici, la diversification peut être très grande. La mode et ses tendances ont constamment et considérablement amélioré ces produits.

Nous ne nous arrêterons pas au cas des gammes d'unis, importantes et pastellisées actuellement, sinon pour rappeler que ces unis sont presque toujours mis au point pour être coordonnés avec les tissés ou les imprimés en tant que draps de dessus. Ces unis, teints en pièce, ou ces tissés, ces damassés suivent la même influence que les produits vus précédemment : le naturel, le folklore, avec beaucoup de subtilité aussi.

Les unis font 60 % du marché, les rayures et les carreaux 6 %, et les imprimés 34 %.

Jusque vers les années 1960, les parures de lit étaient restées très classiques, voire traditionnelles. Un peu de fantaisie existait dans des parements imprimés. Les couleurs étaient classiques aussi : bleu ciel, rose clair, vert nil, jaune paille. La vogue vint très vite du drap entièrement imprimé. Le plus souvent, la taie et le traversin étaient confectionnés dans le même tissu.

Les investissements ont été considérables, en ce qui concerne ce produit, en métiers à tisser grande largeur, aussi bien qu'en machines à imprimer, à cadres rotatifs



Document Blangil



Document Blangil

▲ *En haut, les unis font 60 % du marché des parures de lit. Ils peuvent être coordonnés avec des imprimés, ici, drap et taies en coton (garantie Blangil). Création les Tissages Modèles. Ci-dessus, il existe un grand nombre de dessins réalisés en tissu continu. Souvent de couleurs agressives, la tendance est aux couleurs plus douces. Ici, drap coton 100 %, motif « Liberty » (garantie Blangil, marque Essix-Solintex).*

le plus souvent. Les dimensions d'un drap de 2 personnes sont 240 × 310 cm, et 1 personne, 180 × 290 cm.

Un produit de base est né vers les années 1960 : le drap-housse. Il s'agit du drap de dessous ; cette housse confectionnée dans un drap est munie d'un élastique enserré dans un ourlet, qui lui permet de maintenir la housse sur le matelas ; les tailles sont de 180 × 190 cm et 90 × 190 cm.

Les dessins, variés à l'infini, ont été souvent excessifs, ainsi que leurs coloriages. L'association du marron et de l'orange se voyait partout, se trouvait, par excès, au seuil de la rupture entre le produit et le client, ainsi que nous l'avons vu au sujet du torchon.

La conception du produit a été repensée avec plus de subtilité, et s'il subsiste encore et sans doute toujours un grand nombre de dessins réalisés en tissu continu, l'apport principal de ces dernières années a été celui des motifs placés. Nous abordons véritablement le décor, le lit se pare. Les taies d'oreillers de format courant 75 × 75 cm sont imprimées séparément, de motifs placés, souvent encadrés, composés dans le carré. Les draps sont imprimés de motifs rappelant le dessin des taies, ainsi que les traversins.

La confection a fait un grand progrès également dans ce genre de produit, vers la subtilité : les taies à volants, les parures brodées à l'ancienne. Ce mot revient encore. Il faut aussi regretter, ainsi que nous l'avons exprimé au sujet de l'éponge, que le décor de ce produit soit souvent éloigné de ce que devrait être un véritable style contemporain.

Une innovation technique très récente, le drap réversible, a été fournie par la possibilité d'imprimer deux dessins différents recto verso, à condition que l'un comme l'autre soit très couvert. La réalisation se fait actuellement sur coton, et la satisfaction serait grande à la réalisation d'un dessin imprimé et de son envers de couleur unie.

En dehors des collections de parures de lits, destinées aux adultes, il existe des collections créées spécialement pour les enfants ; les dessins en sont figuratifs, le plus souvent.

★ *La couette.* Il existe une façon de coucher différente de celle du lit habituel (drap de dessous ordinaire, à border ou housse, drap de dessus à border) : il s'agit du coucher à la façon scandinave. Le drap de dessus devient couette, donc non bordé. Pour le moment, ce genre de produits ne fait qu'un petit pourcentage du marché (5 % environ). Il devrait aller en progressant, si l'on tient compte de ses avantages : confort et chaleur, non-conformisme, rapidité à faire son lit. Les clients actuels sont les possesseurs de résidence secondaire, les enfants, les jeunes ménages.

★ *La couverture.* Mais la majorité préfère le coucher classique : draps et couverture. Voyons ce dernier produit. Pourquoi une couverture traditionnelle ? Parce qu'elle répond à ce besoin de chaleur et de protection maternelle que nous connaissons tous. La couverture faisait jusqu'ici partie de la vie intime et elle était le plus souvent dissimulée. La valeur décorative de ce produit traditionnel était sans importance. En dehors des deux couleurs rose pâle et bleu ciel, il n'y avait pas tellement d'autre choix.

Le produit a suivi l'évolution du décor dans la maison. La couverture prend une fonction décorative ; on la montre, et son toucher, « son moelleux » la rendent accueillante. Les « designers » ont aussi fait évoluer ce produit ; les gammes de couleurs sont variées : des coloris chatoyants : des roux, miel, rouge, bleu, bronze, rose indien, whisky, chameau, sable, etc., mais aussi des tissés, des jacquards, plus rarement des imprimés.

Les fibres utilisées sont celles qui procurent le mieux la sensation de chaleur et de confort. Elles sont d'origine animale le plus souvent : la laine, le mohair, le mérinos, le poil de chameau, etc. A l'aide de ces fibres sont réalisées les qualités supérieures, le plus souvent unies et double face. La laine, grâce à son image de chaleur, de confort, de durabilité, fait aussi les hauts de gamme et les couvertures de grande taille : 240 × 260 cm et même 240 × 300 cm.

Les fibres artificielles permettent de fabriquer des couvertures moins chères (entre autres clientèles : les « jeunes ménages »). C'est le plus souvent avec ces fibres (la viscose, l'acrylique) que sont réalisés les dessins Jacquard.

Mais en ce qui concerne les couvertures, plus encore que dans les autres produits du linge de maison que nous avons vus, ce sont les couvertures unies qui sont le plus demandées.

L'une des opérations techniques particulières à la couverture est le « grattage » ou « lainage ». Les pièces de tissu passent sur des cylindres à dents d'acier. Ces sortes de brosses métalliques agissent dans le dessein d'ébouriffer le tissu.

★ *Le couvre-lit.* Apparenté à la couverture, le couvre-lit subit aussi les tendances de la mode. Il trouve son expression, actuellement, dans ce retour au naturel, au folklore. Les matériaux utilisés sont les gros tissages de coton, de laine, des flammés, des effets d'incrustation de motifs, plus légers : le piqué de coton blanc ; d'inspiration américaine : le patchwork ; les imprimés trouvent ici leur place.

### Répartition du marché

Nous terminerons cet exposé concernant « les textiles et le linge de maison » par quelques chiffres comparatifs concernant la répartition du marché :

— volumes des ventes : lit : 65 % ; toilette : 20 % ; table : 9 % ; office : 6 % ;

— ventes réalisées selon les différents circuits de distributions du linge de maison :

détaillants : 23 % ;
grossistes : 18 % ;
grands magasins : 15 % ;
succursalistes : 10 % ;
V. P. C. : 9 % ;
divers et importations : 8 % ;
hypermarchés : 7 % ;
magasins populaires : 5 % ;
groupements d'achats : 5 %.

# LE MOBILIER

Ce que l'on entend par mobilier couvre un champ étendu dans le domaine des objets et produits. D'après Littré, il s'agit :

— de l'ensemble des meubles qui sert à garnir une maison sans toutefois en faire partie;

— de ce dont on peut faire l'inventaire (terme de jurisprudence qui désigne les choses qui peuvent se transporter sans détérioration dans l'habitat à l'exclusion de l'argent comptant, des pierreries, des dettes actives, des livres, des médailles, des instruments de sciences, des arts et métiers);

— de ce qui est mobile, de ce qui peut bouger, se déplacer, et, en simplifiant, de ce qui se « déménage ».

Les objets qui concourent à l'aménagement de notre habitat sont certainement, dans l'échelle catégorielle des produits qui nous entourent, ceux qui jouent le mieux le rôle de témoins. Ils parlent, ils nous offrent à la fois la clef et l'ouverture sur la compréhension de notre manière de vivre, sur notre intégration sociale et sur les relations profondes que nous pouvons forger entre nos objets et nous-mêmes : objet/fonction, objet/symbole. Selon Baudrillard : « Les objets sont porteurs de significations sociales indexées, porteurs d'une hiérarchie culturelle et sociale, et ceci dans le moindre de leurs détails : forme, matériau, couleur, durée, rangement dans l'espace... » D'autre part, l'ameublement met bien en évidence les interactions survenues entre l'évolution formelle des produits et l'évolution technologique.

| | |
|---|---|
| *Meuble :* | un bien, ce que l'on possède et qui peut se déplacer; |
| *Mobilier :* | l'ensemble des biens meublés déplaçables; |
| *Meublé :* | habitat garni de meubles; |
| *Ameublement :* | le « a » n'est pas privatif mais signifie le mouvement, la direction (« à » et « meubler »); |
| *Meubles meublants :* | objets servant à garnir un appartement. |

Le mobilier est fonction du milieu et des techniques. C'est précisément l'étude qui a été faite par A. Leroi-Gourhan dans son livre *Milieu et Techniques*, où il s'efforce d'approfondir les différentes techniques d'acquisition, de consommation, de diffusion liées à la perméabilité du milieu technique au travers de nos objets : l'oreiller, le hamac ou les sièges sont étudiés en fonction de leur emploi dans la complexité de l'évolution des civilisations et de leurs interactions. Certains modèles fonctionnels comme le siège, l'armoire, la couche ou le lit ont traversé les siècles jusqu'à nous. Les Eskimos utilisaient au XII$^{e}$ siècle le petit tabouret. A la même époque, on trouve l'utilisation de l'objet-coffre en Scandinavie, en Sibérie.

Ces modèles fonctionnels fondamentaux ont évolué considérablement, dans leur amélioration technique et dans leur aspect stylistique, jusqu'au début du XX$^{e}$ siècle, sans toutefois que leur principe ait été modifié. Il semble que, dans le courant du XX$^{e}$ siècle, le concept fonctionnel de base ait été profondément bouleversé pour certains objets. L'armoire, la commode sont des notions qui, pour la plupart des créateurs contemporains, paraissent dépassées. La cuisine a rationalisé son espace. Depuis les études de Gropius et Breuer qui étudiaient au Bauhaus les mouvements de la ménagère, elle offre une organisation fonctionnelle qui est presque stéréotypée dans les tâches.

Une autre conception de l'ameublement apparaît, liée aux nouvelles méthodes de fabrication, mais encore plus à l'évolution globale de notre environnement, par exemple à celle de l'architecture. Les sièges actuels offrent une manière décontractée de s'asseoir : banquettes à même le sol, simples coussins jetés.

L'espace se modifie : coins repas, coins détente, espaces à vivre.

Notre habitat semble se libérer du cloisonnement figé qui était celui du siècle dernier. Certaines salles de bains sont directement installées dans la chambre, et les cuisines s'intègrent dans le « living-room ». Les architectes créent les bureaux espaces paysagers. La conception de notre habitat devient plus souple, l'espace plus malléable. Le confort et l' « ambiance » priment.

## Le mobilier reflète notre manière de vivre

Existe-t-il une relation directe entre les différentes manières de s'asseoir, notre comportement et les différentes formes de sièges? Selon A. Leroi-Gourhan, il n'y aurait pas de liens absolus. Cependant, au travers de l'histoire, on note certaines corrélations. Sous Henri IV, les chaises ne comportent pas de bras; elles sont appelées « chaises à vertugadin » du nom des sortes de crinolines que portent les femmes et qui, trop vastes pour s'accommoder des bras, doivent pouvoir déborder de tous côtés. Sous Louis XV, les menuisiers ont été contraints de reculer les bras des fauteuils pour répondre à la mode des robes à paniers. Sous le Directoire et sous l'Empire, le bras du fauteuil se retrouve à l'aplomb du pied, et la hauteur de l'accoudoir met en valeur les robes à taille haute.

Il est significatif de relever dans les différents catalogues d'ameublement actuels certains qualificatifs fréquemment utilisés. On peut ainsi dégager certaines notions propres à notre époque : la mobilité, l'empilage, le pliage, le démontage, l'emboîtage, la juxtaposition, la modularité, le meuble en kit, le meuble « à fabriquer soi-même », la couleur.

### La mobilité

La notion de mobilité dans l'ameublement a varié selon les siècles et reflète notre conception de l'habitat. Au XVI$^{e}$ siècle, dans l'inventaire du mobilier de Catherine de Médicis, le mobilier tout entier, comme son nom l'indique, est mobile, sauf quelques exceptions : chaque meuble est fabriqué afin de pouvoir être emballé et prendre place dans des coffres.

On détache les tentures et les tapisseries. On replie les tables à tréteaux et les chaises à tenailles. On démonte les lits pièce par pièce, et on emporte un nombre considérable de coussins destinés à garnir les sièges. A l'époque d'Henri IV et de Louis XIII, période de transition, on cesse de transporter le meuble, qui devient un élément stable. Sa construction se fait plus délicate, et la sculpture enrichit l'aspect des sièges. Sous Louis XIV, les lits sont parfaitement immobiles et placés dans des alcôves encadrées de rideaux. Sous Louis XV, la mobilité transparaît dans l'usage, et on trouve des mobiliers d'hiver et des mobiliers d'été, dont on fera varier la soierie. Plus tard, sous Napoléon III, les salons sont très encombrés, mais les meubles n'y ont pas de place bien définie, ils changent de place, et on voit apparaître les roulettes.

Actuellement, cette notion de mobilité se retrouve d'une manière paradoxale. D'une part, on assiste aux recherches d'intégration du mobilier dans l'architecture (a — meuble), en particulier, pour tout ce qui concerne la fonction rangement, les placards. Certains bancs ou sièges entourant des cheminées s'intègrent dans les volumes sols et murs. D'autre part, à l'inverse de ce mobilier intégré à l'architecture, on trouve l'usage du meuble « à jeter » en carton, en matière plastique.

### Le pliage, l'empilage

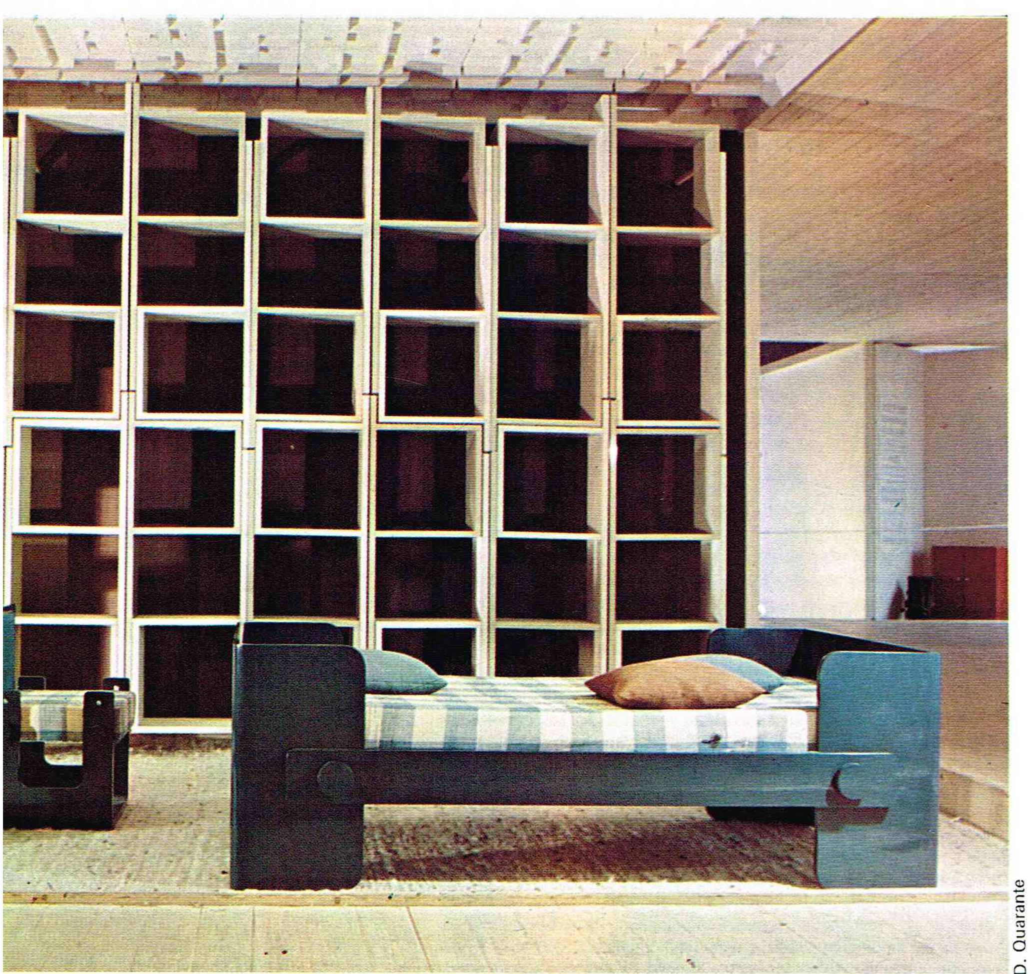
Déjà sous Louis XIV, malgré la lourdeur et la massivité de l'ensemble des meubles, on trouve l'usage des « ployants » et des « perroquets », meubles pliants de faible volume que l'on utilisait dans les salles à manger et les carrosses.

Sous Louis XV, le pliant est dédaigné par le particulier parce qu'il est inconfortable. Il garde seulement sa faveur dans les pièces de représentation des demeures royales. C'est à la fin du XIX$^{e}$ siècle, vers 1875, qu'apparaît la chaise longue pliante, modèle encore en usage de nos jours et qui semble avoir trouvé d'emblée sa forme parfaite. Cette chaise longue avait été réalisée pour une compagnie de navigation, d'où son nom de « transatlantique ».

Aujourd'hui, le manque d'espace, l'exiguïté des « surfaces à vivre » déterminent et conditionnent un nouveau type d'ameublement. Les chaises sont fréquemment pliantes, empilables ou possèdent à la fois ces deux caractéristiques. Les lits sont superposables. Ils peuvent se replier ou s'encastrer dans une bibliothèque, un mur aux fonctions multiples. Les canapés se replient, sont


J.-Ph. Charbonnier - TOP


D. Quarante


D. Quarante

convertibles, deviennent canapés-lits. Non seulement les meubles se plient, mais ils peuvent souvent se démonter ou s'emboîter. Certains sièges ont des structures démontables, et leurs garnitures se retirent par des systèmes de pression ou de fermeture à glissière. Il existe également des meubles qui se gonflent, se dégonflent et peuvent être transportés dans un sac. Enfin, les meubles actuels se juxtaposent entre eux ou bien sont composés d'éléments juxtaposables : ils sont modulables.

### *La modularité*

Dérivée des notions précédentes, la modularité semble être une des grandes caractéristiques de notre ameublement : le mobilier peut s'adapter à des fonctions diverses de l'espace à vivre, il peut être évolutif dans le temps (le lit grandit avec l'enfant).

Salles de bains, bureaux, bibliothèques, salons sont composés d'éléments modulaires, ils sont transformables à volonté : quelques éléments de base suffisent à l'usager pour composer tables-lits, éléments de rangement. C'est le salon à géométrie variable. Selon Joe Colombo : « On programme son habitat soi-même dans le temps et l'espace. » Par ailleurs, la modularité répond souvent aux exigences de la production et de la distribution (facilité de stockage, suppression de l'assemblage).

### *Le meuble en kit et le meuble à construire soi-même*

Comme de nombreux autres objets, le mobilier actuel est quelquefois vendu en kit, par éléments, en pièces détachées. On reconstruit seul son modèle. L'exemple du mobilier « puzzle wood » de G. Schneegans et G. Planchenault est significatif, à la fois éducatif, fonctionnel et économique.
On voit apparaître également le mobilier « à construire soi-même » à partir de pièces d'assemblages très simples ou à partir de modèles, de patrons proposés par les fabricants de produits semi-finis ou par les designers.

Cela implique souvent pour l'utilisateur l'achat d'un mini-outillage et d'un équipement permettant le travail du bois ou des stratifiés.

### *La couleur*

Naturellement liée aux progrès de la chimie et à l'utilisation dans l'ameublement des nouveaux matériaux (gel-coat coloré des résines polyester, gammes très étendues de coloris dans les matières plastiques A. B. S. ou P.M.M.), la couleur apparaît quelquefois violente, franche (un certain jaune, un certain orange, un certain rouge, un certain bleu, un certain vert semblent styliser notre époque par leur emploi répétitif, systématique). Les bois eux-mêmes ont suivi cette évolution, ils sont laqués de couleurs vives, ou teintés.

On peut citer dans ce domaine les recherches de Verner Fanton qui a une conception globale de l'habitat, attachant une énorme importance à la couleur et « méprisant le caractère de froideur ou de chaleur en créant une atmosphère délibérée ».

La « transparence » marque également notre époque avec l'emploi des matières plastiques transparentes, de la glace (plateaux de table ou mobilier entièrement conçus en glace bombée). Transparence aussi dans l'architecture. La maison transparente, ouverte sur la nature, l'abolissement de la barrière visuelle, c'est aux architectes de 1930 que l'on doit cette première tentative. Mies Van der Rohe (qui fut le dernier directeur du Bauhaus de Dessau) conçut la maison Tugendhat. La vision de la nature est largement offerte par l'emploi de baies vitrées. La nature est mise en valeur par le contraste offert dans l'architecture intérieure : rigueur formelle, froideur des matériaux, fonctionnalisme sévère mais proposant une nouvelle conception de l'espace en abandonnant une fois pour toutes les schémas qui avaient été ceux de la bourgeoisie victorienne, nouvel espace, nouveau mobilier, simplicité des formes et des fonctions.

A la même époque, l'idée de la nature apparaît avec chaleur dans les intérieurs de Wright, qui ne cache pas les matériaux naturels, qui ne cherche pas à les imiter, mais qui ose les employer bruts : la pierre, le bois.

### *Le mobilier, ses charges symboliques*

Notre ameublement, le choix que nous faisons de nos meubles, de leur organisation dans l'habitat, ne répondent pas toujours à des critères fonctionnels. Certaines chaises parfaitement inconfortables ont connu un réel succès. La notion de confort associé aux sièges est récente ; les sièges égyptiens ou romains ne se voulaient pas confortables, ils renforçaient l'autorité de leurs utilisateurs et dérivaient du trône. Au XVIII^e siècle, l'aspect des sièges renseignait déjà sur le rang social de leur possesseur. Les sièges moins coûteux étaient garnis de canne ; la richesse se marquait par la garniture, par les sculptures, les dorures dont le prix pouvait atteindre vingt fois le prix d'un fauteuil courant.

Notre mobilier renseigne notre entourage sur notre personnalité, notre rang social. Il nous fait « paraître ». Il devient *symbole*. Dans ce sens vont les recherches d'Ettore Sottsass, architecte italien qui retrouve dans les meubles qu'il dessine un nouveau rapport entre l'homme et l'objet : mobilier imprégné de symbolique et de poésie. L'*objet-meuble* est profondément lié aux facteurs de la mode. L'acte d'achat ne répond pas toujours à un choix rationnel, ce qui permet de lever un certain voile sur le comportement social et culturel de chacun, de chaque groupe au travers de son habitat.

Les différents fournisseurs d'ameublement correspondent bien schématiquement à différentes catégories sociales. Actuellement, on peut schématiser trois modes de distribution coexistants :

— le magasin spécialisé, possédant une surface d'exposition, un service après vente et quelquefois un service d'aménagement et d'architecture intérieure ;

— les grandes surfaces, situées fréquemment à l'entrée des villes et offrant un amoncellement impressionnant de mobiliers et de luminaires de tous styles ; la livraison est rare, et le montage simplifié au maximum ;

— les ventes par correspondance, sur catalogue, expériences récentes qui semblent avoir obtenu un certain succès. Le mobilier est livré directement chez l'usager qui se chargera de procéder au montage.

Cependant, la différenciation sociale se marque certainement plus dans le choix formel et dans l'organisation du décor que dans le prix d'achat. On a d'ailleurs assisté à l'apparition sur le marché d'un mobilier de série simple, bon marché, jeune, qui, vendu sur catalogue ou dans certains grands magasins, semble toucher une clientèle plus hétérogène, moins précise. Ce mobilier plus fonctionnel apparaît déchargé des connotations complexes qui affirmaient l'objet-meuble d'un rang social spécifique. Cette simplicité apparente n'est-elle pas elle-même un nouveau symbole ? Un retour au naturel ? Le choix des matériaux semble le prouver. Le dernier Salon de la Société des artistes décorateurs présentait différents mobiliers pratiquement tous réalisés en bois clair. Terence Conran dessine un mobilier contemporain dont les formes s'inscrivent sans heurts dans la tradition britannique (1964). Ce mobilier classique contemporain sera vendu dans des magasins spécialisés pour la maison, pour l'habitat.

Il ne faut pas non plus oublier que l'acte d'achat peut être motivé par des facteurs autres que le choix d'usage. On a écrit souvent que le désir de se meubler avec un mobilier ancien « de style » était en fait une sorte de refuge, un refus de l'actuelle société et une mauvaise adaptation à notre époque. Est-ce plutôt le fait d'un passage, d'une période de transition ? Ce retour au passé s'est manifesté avec excès dans les rayons de certains grands magasins (ce fut le phénomène Biba à Londres) : retour aux années 30, le meuble fétiche, le meuble anti-fonctionnel, ambiances de trompe-l'œil, le kitsch retrouvé, coussins plumes, fourrures, marbres, faux marbres, fausses fourrures, faux kitsch.



Architecte d'intérieur Berthet-Godet - photo Alain Dovifat

***▲ La transparence marque notre époque dans l'architecture et dans l'ameublement. Ici, aménagement intérieur de J.-L. Berthet.***
***◀ Page ci-contre, en haut, à gauche ; on a imaginé des sièges gonflables. Ici, fauteuil gonflant en polyvinyl avec dessus cloqué (Aubert-Jungmann, Stinco - firme A. J. S. Aérolande). A droite, les chaises actuelles sont fréquemment pliantes ou empilables. Elles possèdent même souvent ces deux caractéristiques. Ici, chaise Plia de G. C. Piretti pour Castelli. En bas, la « modularité » semble être une des caractéristiques de notre ameublement. Le mobilier s'adapte à des fonctions diverses. Ici, le « lit qui grandit avec l'enfant », mobilier conçu par Danielle Quarante en 1967, pour Roche et Bobois.***



Musée des Arts décoratifs

1



P. Hinous - TOP

2



J. Guillot - TOP - Musée des Arts décoratifs

3

## Tableau évolutif des sièges de Henri IV au second Empire

**1 - Henri IV - Chaise à bras**

L'aspect de ce siège est carré et les courbes sont absentes. Le dossier, plus large que haut, est dans le même plan que les pieds postérieurs. Traverse reliant les pieds à leur partie inférieure. Le meuble repose sur le sol par des boules tronquées. Le siège et le dossier ont une garniture fixe et rembourrée (à l'âge précédent on employait des coussins mobiles), faite de cuir, de tapisseries et de velours.

Ces sièges sont en bois de chêne ou de noyer. Le bois est tourné pour les sièges de luxe et simplement équarri pour les sièges ordinaires. Il n'est qu'un support pour la tapisserie ou l'étoffe qui recouvre le siège.

**2 - Louis XIII-Louis XIV - Fauteuil**

A mesure que l'on avance dans le temps, les lignes s'assouplissent, les accoudoirs prennent une double cambrure pour se terminer en crosse à l'avant. La traverse d'entrejambe existe toujours à la base du fauteuil.

Le bois du dossier reste invisible. La garniture est en cuir rehaussée d'or ou d'argent, de tapisserie de soierie ou de velours. Généralement, la tapisserie du siège est assortie aux rideaux du lit, les sièges plus simples sont cannés.

Ce siège est en chêne ou en noyer, la sculpture apparaît et est parfois exubérante. Le bois est tourné.

**3 - Louis XV - Fauteuil cabriolet**

Le bois apparent est de règle. Triomphe de la ligne courbe, le galbe parfait est atteint entre 1750 et 1775. Disparition vers 1720 de la traverse d'entrejambe au bas des sièges. Les pieds se cambrent et se terminent en pied de biche. Le siège est l'œuvre du menuisier.

Le bois employé est le noyer ou le hêtre. L'assemblage se fait à tenons et mortaises avec chevilles de bois qui assurent la souplesse du siège.

Si l'ornementation du siège est importante, le menuisier confie le siège au sculpteur puis au doreur et au peintre. Le tapissier emploie de merveilleuses soieries qui constituent en général une partie considérable du prix de revient du siège. La tapisserie est rare, la canne employée sur les sièges simples, les passementeries sobres.



R. Guillemot - TOP
4



Document Hutin © by SPADEM 1978
5

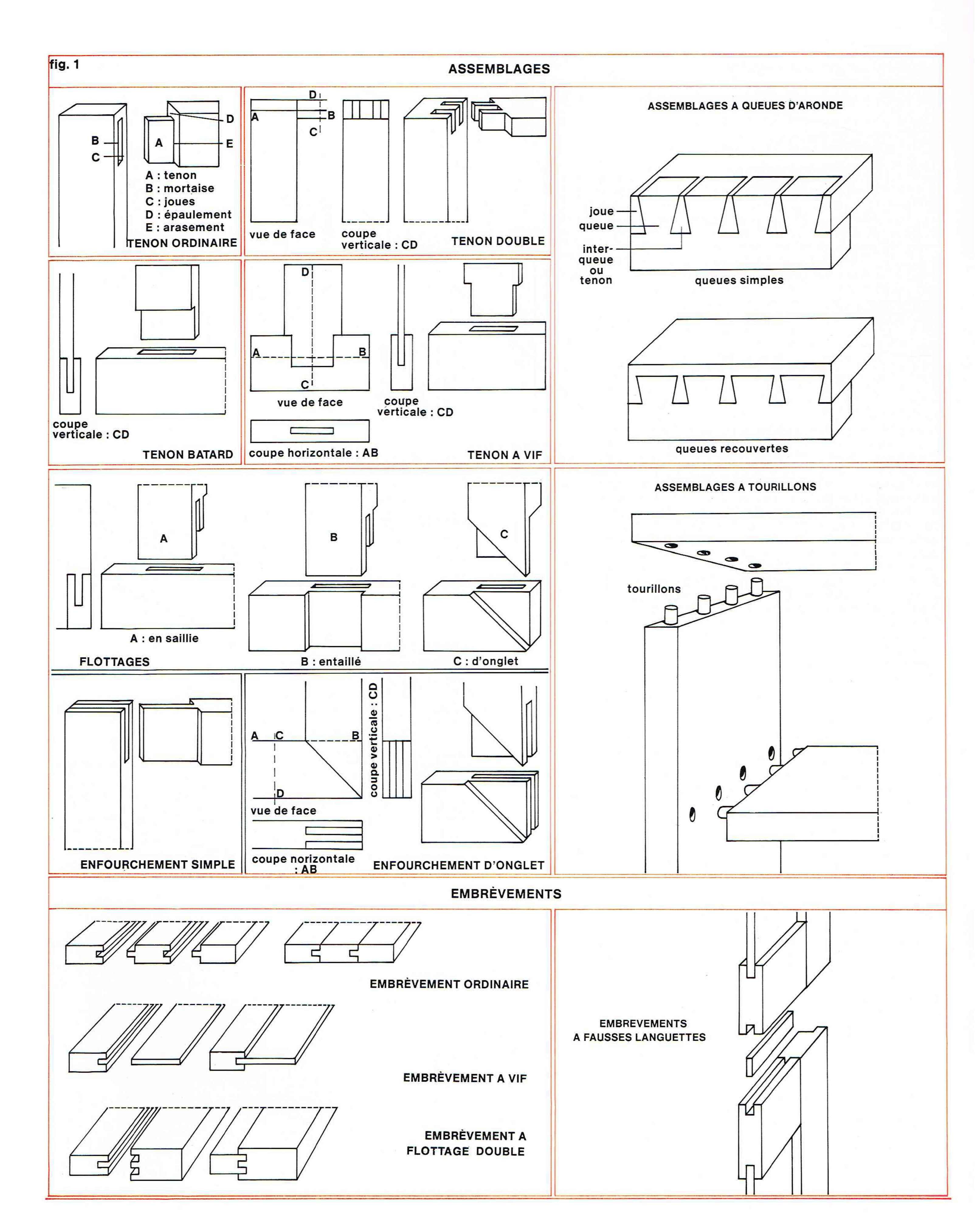
**4 - Louis XVI - Fauteuil**
La ligne droite et les angles droits règnent mais on admet le plein cintre et le demi-cercle. Le dossier légèrement creusé est dit en « cabriolet », le dossier ovale est dit en « médaillon ». Les pieds sont tournés soit à cannelures verticales (pieds en carquois), soit à cannelures en spirale.
Le siège est en bois de noyer ou de hêtre peint dans des tons assortis à la boiserie (gris clair, vert d'eau, blanc et or).
La garniture de ce siège est en soierie à motifs de fleurettes ou à motifs pompéiens. Peu d'usage de la tapisserie. On retrouve toujours la canne sur les sièges simples. La toile imprimée fait son apparition, elle est moins chère que la soie, par exemple la toile de Jouy.

**5 - Empire - Fauteuil**
Les accotoirs sont dans le prolongement des pieds de devant alors qu'au XVIIIe siècle, ils étaient toujours en retrait. Cette mode se rattache à l'engouement pour les sphinx, les cariatides engainées et les lions monopodes. Les dossiers sont carrés et rembourrés, les pieds postérieurs sont cambrés et largement écartés. La palmette et les décors géométriques sont caractéristiques du style empire.
Les sièges, qui seront peints ou dorés, sont en if ou en hêtre et l'acajou prend une place très importante. Les sièges sont garnis d'étoffes lourdes, damas, velours cramoisis, brocart, soie brodée.
Les couleurs favorites sont le vert avec toutes ses nuances et le brun-rouge. Les galons jouent un rôle prépondérant et constituent un élément de transition entre le décor des étoffes et la sculpture des bois. Les fauteuils des palais impériaux sont souvent recouvert de tapisseries pour fournir des débouchés aux manufactures officielles.

**6 - Second Empire - Borne de salon**
Sans bois apparent, c'est le règne du capiton, des sièges confortables adaptés à la mode féminine très encombrante avec ses robes à crinoline. Les franges sont là pour masquer les pieds du siège.
Les sièges sont en acajou, en palissandre ou en bois vernis noirs incrustés de nacre et peints de couleur. L'innovation de cette époque est le papier mâché, procédé découvert par les Anglais en 1820 et dont la mode fut suivie par les fabricants français.
L'artisan disparaît pour faire place au fabricant qui exécute en grande série et qui a pour but de faire du bon marché. Les sièges sont recouverts de soieries brodées ou damassées. La passementerie est très importante : chenilles, franges, pompons. Les tapisseries de sièges redeviennent très à la mode.



R. Guillemot - TOP, chez Mme Debar, à Paris
6


fig. 1
ASSEMBLAGES
B
C
A
D
E
A : tenon
B : mortaise
C : joues
D : épaulement
E : arasement
TENON ORDINAIRE
D
A
B
C
vue de face
coupe verticale : CD
TENON DOUBLE
ASSEMBLAGES A QUEUES D'ARONDE
joue
queue
inter-queue ou tenon
queues simples
queues recouvertes
coupe verticale : CD
TENON BATARD
D
A
B
C
vue de face
coupe verticale : CD
coupe horizontale : AB
TENON A VIF
A
B
C
A : en saillie
FLOTTAGES
B : entaillé
C : d'onglet
ASSEMBLAGES A TOURILLONS
tourillons
ENFOURCHEMENT SIMPLE
A
C
B
D
vue de face
coupe verticale : CD
coupe horizontale : AB
ENFOURCHEMENT D'ONGLET
EMBRÈVEMENTS
EMBRÈVEMENT ORDINAIRE
EMBRÈVEMENT A VIF
EMBRÈVEMENT A FLOTTAGE DOUBLE
EMBREVEMENTS A FAUSSES LANGUETTES

## *La fabrication du meuble*

### *Persistance de la conception traditionnelle*

Le meuble estampillé n'est plus fabriqué. Il fait partie du patrimoine de certaines familles. On le sauvegarde ou on le vend. Sa valeur marchande est cotée.

Au meuble-objet-œuvre, se substitue le meuble de série destiné au plus grand nombre, même si certains artisans réalisent encore des meubles « à la demande ». Récemment encore, mais exceptionnellement de nos jours, le meuble est l'œuvre complète d'un artisan-ébéniste. A l'artisan, entièrement responsable de son travail (il prenait personnellement la peine de juger de la qualité des bois qu'il allait employer), a succédé l'équipe chargée de la fabrication et de la finition du meuble. Le travail a été divisé. On trouve successivement : les traceurs, les débiteurs, les machinistes, les plaqueurs, les monteurs, les metteurs en couleurs, les vernisseurs, les finisseurs, les laqueurs, les marbriers.

La tradition dans la conception du meuble s'est poursuivie indépendamment de la division du travail. Le négociant-fabricant a encore souvent, à l'arrière de son magasin du faubourg Saint-Antoine, un atelier de réalisation. Il conçoit lui-même ses modèles, à moins qu'il ne fasse appel à un décorateur.

Les meubles sont réalisés dans les anciens ateliers artisanaux équipés cependant d'un outillage mécanique moderne et souvent important, relevant des techniques de transformation du bois. L'arrivée de la machine a décomposé les tâches à accomplir : tracer, scier, corroyer, assembler, coller, plaquer, monter, finir. Cette fragmentation n'a cependant pas modifié la conception générale du meuble. Les méthodes d'assemblage restent en grande partie traditionnelles, orthogonales, en dehors de certaines améliorations dues aux nouveaux collages (colles-contact au néoprène) ou à des apports de nouveaux systèmes de quincaillerie. On trouve en effet un grand nombre de modèles de paumelles, fiches, compas, charnières, qui permettent de fabriquer de petites séries de modèles sans avoir à faire réaliser spécialement des pièces conçues pour elles.

Cette tradition s'est légèrement enrichie de l'apport de certains matériaux nouveaux, en essayant de les adapter sans pour cela remettre en cause la conception même des meubles ; apport de certains vernis polyester et méthodes de mises en couleurs, emploi de stratifiés comme revêtements de surface, remplacement de certains panneaux sculptés en bois par une imitation moulée en polyuréthanne.

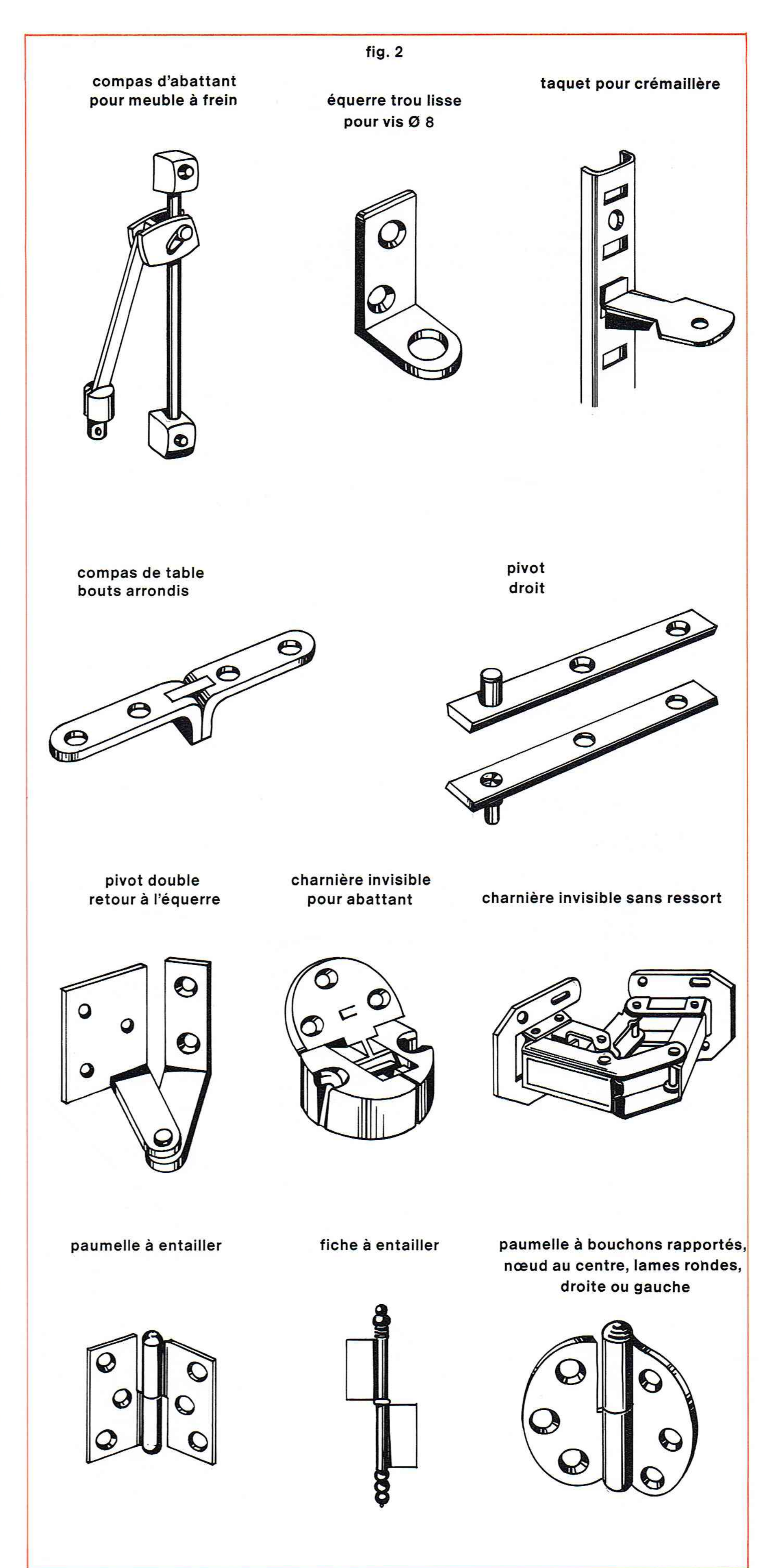
Les mousses plastiques sont apparues pour la garniture des sièges et ont complètement remplacé les garnitures traditionnelles sans, dans ce cas, modifier la forme extérieure des coussins. Aux tissus de lin, de laine, se sont substituées toutes les fibres synthétiques. Le cuir s'est vu remplacer par les revêtements vinyliques, tissus enduits, imitation cuir. Les matériaux que l'on appelle « véritables » semblent réservés à de très petites séries et sont en général destinés à une clientèle riche.

Cette fabrication traditionnelle a pu s'industrialiser grâce à l'arrivée du panneau de particules (matériau rigide, résistant, peu sensible aux écarts de température — les liants sont des résines thermodurcissables) qui est devenu le matériau de choix pour la fabrication de toutes les surfaces planes. C'est en Allemagne que cet emploi fut rapidement industrialisé. Cette industrie est actuellement puissante. On comprend le succès de ce matériau qui ne révolutionne aucunement l'aspect formel du mobilier. Il ne nécessite ni moule ni outillage vraiment nouveau. Il ne présente pas de risque ; les panneaux préenduits ou prédécoupés sont simplement assemblés.

En ce qui concerne l'emploi du polyméthacrylate de méthyle dans l'ameublement (PMM), plus connu sous le nom d'Altuglas ou de Plexiglas, il faut souligner qu'il a l'énorme avantage de se prêter comme tout thermoplastique aux techniques de pliage, formage et même injection, mais aussi de pouvoir se travailler comme du bois. Il se scie, se colle, se taraude. Aussi certains ébénistes ont-ils facilement pu se reconvertir dans le travail du PMM.

Parallèlement à cette fabrication du meuble qui semble figée dans sa tradition conceptuelle et qui ne s'enrichit d'apports technologiques que d'une manière anar-

fig. 2



▶ *Aménagement de salle de bains de F. Catroux.*

◀ *Pages 122 et 123. Figure 1 ; le bois et la fabrication du meuble, différents modes d'assemblage (d'après X. Hosch,* Traité de dessin dans la construction du meuble, *éditions Dunod). Figure 2 : modèles de pièces de quincaillerie qui permettent l'assemblage des divers éléments de menuiserie d'un meuble (d'après les catalogues de la société anonyme Béchu).*



R. Guillemot - TOP

chique, on assiste à un autre courant, à une révolution complète dans la conception et dans les méthodes de fabrication du mobilier contemporain.

### *Le mobilier contemporain, sa fabrication*

La fabrication du meuble n'est plus l'apanage souverain de l'ébéniste. Un meuble peut être fabriqué dans une usine spécialement automatisée pour ce type de production, ou dans une usine fabriquant parallèlement des pièces pour l'industrie automobile ou pour le nautisme. Le meuble de série se fabrique à une cadence parfaitement programmée et selon un projet défini.

Les différentes étapes de la création et de la fabrication sont :

★ l'analyse du problème, qui s'effectue en liaison avec le service de marketing, le bureau de la recherche, l'équipe de conception design et produits ;

▶ *Siège de dactylo ; ce modèle répond à une fonction précise. Il a été conçu en tenant compte de certaines données ergonomiques. La hauteur de l'assise est variable, le dossier est réglable. Ce siège est équipé de roulettes.*



Flambo

▶ *Page ci-contre, photographies de plusieurs sièges qui ont eu leur importance quant à l'évolution des formes :* 1) *Rocking-chair Shaker (1820) ;* 2) *chaise de Michael Thonet (1867) ;* 3) *chaise de C. Mackintosh (1902) ;* 4) *fauteuil Rietveld (1917) ;* 5) *fauteuil Marcel Breuer (Bauhaus, 1925) ;* 6) *chaise-longue de Le Corbusier (1928) diffusée par Cassina ;* 7) *fauteuil de Mies Van der Rohe (1929) ;* 8) *chaise d'Antonio Bonet et Juan Kurchan (1938) diffusée par Airborne - Société française du siège.*

★ les propositions de solutions, de modèles ;

★ les réalisations de plans maquettes (conception des dessins techniques ; essais, résistance des matériaux ; calcul des coûts) ;

★ le projet final ;

★ la réalisation du programme de fabrication (essais, contrôle) ;

★ la livraison des produits, le service après-vente.

De nouveaux moyens, encore récents, deviendront une aide précieuse pour la conception des produits, et notamment des meubles ; il s'agit de l'informatique graphique, nouvel outil qui aide à concevoir et à visualiser les modèles. Ces systèmes permettent au créateur de dialoguer avec sa propre recherche. Il peut obtenir des plans sur papier ou sur calque à partir des informations rentrées et ensuite modifiées. Ce sont les périphériques graphiques. On peut également commander, à partir de ces données, des machines-outils à commande numérique qui permettent d'obtenir le modèle en trois dimensions.

Selon C. Eames, « les structures spécifiques et la technologie des computers peuvent aider la société à répondre aux besoins particuliers des individus ».

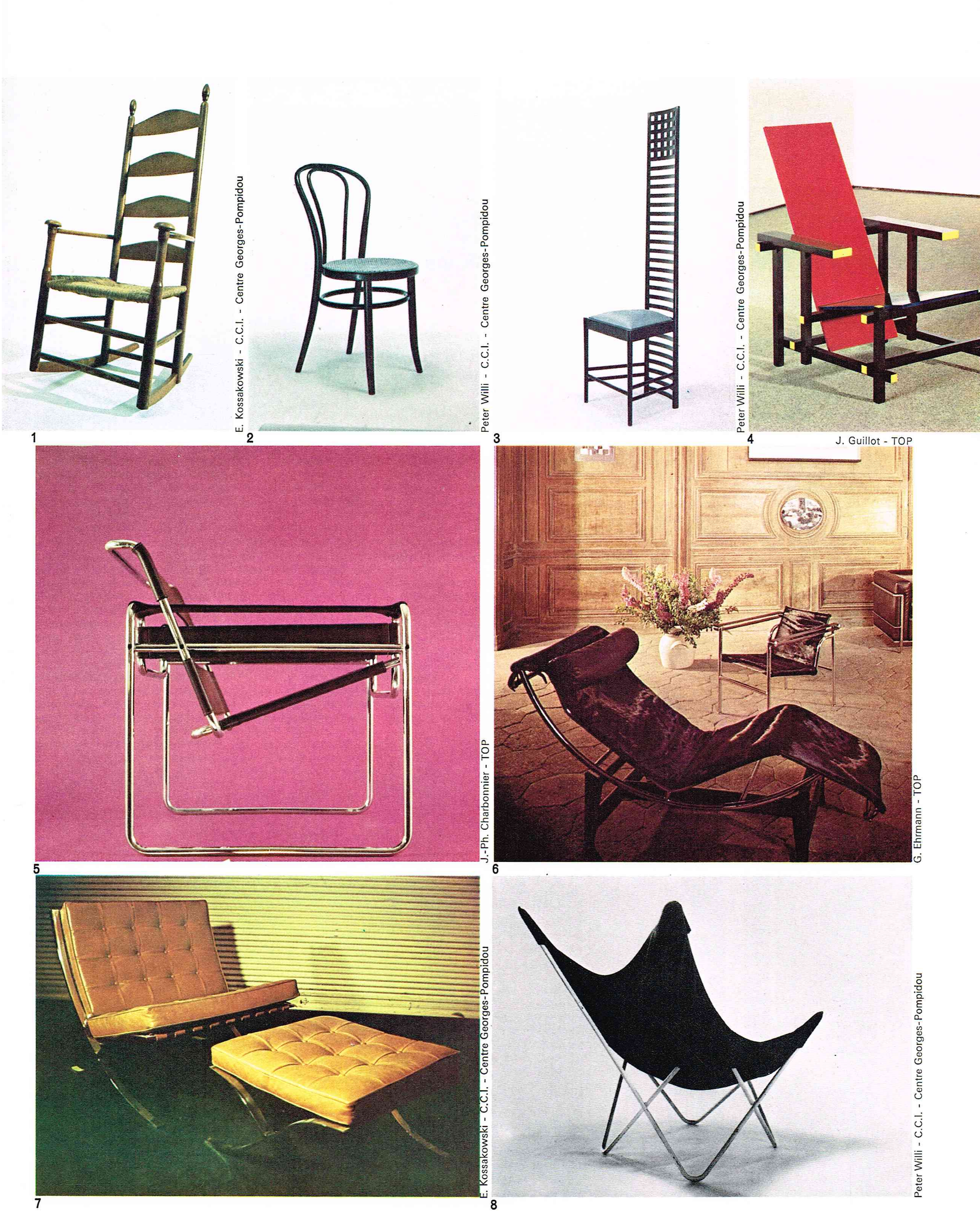
Malgré cela, la réalisation d'un prototype de siège en moulage plastique, destiné par exemple au thermoformage, passe encore très souvent par des étapes manuelles. A partir d'une maquette et de plans, une première forme grandeur nature va être élaborée en plâtre ou en balsa par le modeleur. D'après cette première forme qui a l'avantage de pouvoir, au fur et à mesure, se corriger facilement, on dessinera ensuite des plans de coupes successives, espacées de 15 mm à 50 mm selon le plan vertical. Ces dessins de coupes seront matérialisés par des gabarits en bois qui seront ensuite assemblés avec des intervalles convenables pour ne former qu'un bloc. Les intervalles de ce quadrillage de coupes seront ensuite comblés. Ce bloc ne subira que de très faibles corrections. Il sera utilisé pour l'exécution du moule.

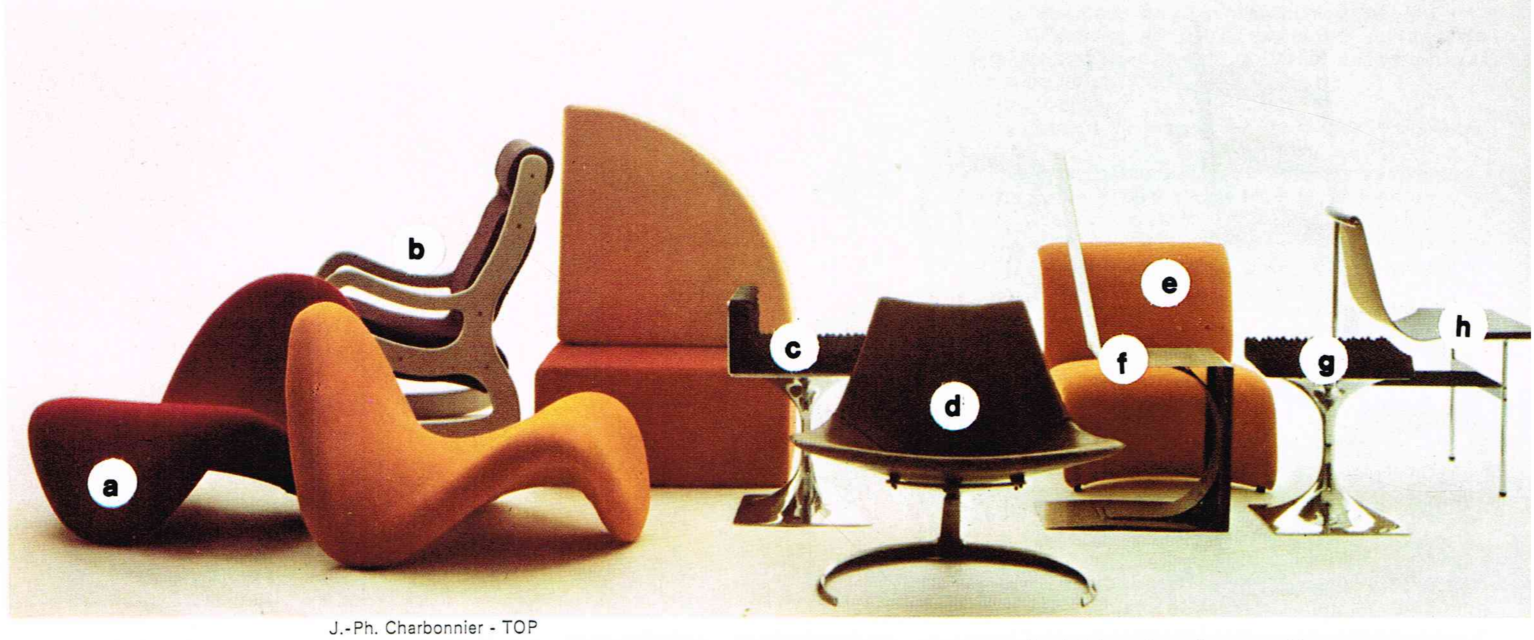
Actuellement, la conception d'un meuble contemporain de série est confiée à une équipe qui comporte à la fois des représentants du service marketing, des représentants du service de fabrication et des designers. Le designer propose une réponse qui doit être un compromis entre toutes les données et les contraintes de départ : contraintes techniques, économiques, fonctionnelles, respect du cahier des charges du produit.

Certaines solutions répondent parfaitement au problème posé : à la fois innovation et respect des données. Dans le mobilier pédagogique proposé par Marc Berthier et D. Pigeon, les contraintes anthropométriques et ergonomiques de départ étaient parfaitement précisées. Les plateaux ne devaient offrir aucune possibilité d'accidents, être de teinte claire, ne comporter aucune arête blessante, correspondre aux normes de la Sécurité incendie. Les surfaces de travail devaient être mates, résister aux taches d'encre et aux entailles. Le souci d'économie a été pris en charge dans la conception de ces meubles, économie des matériaux et des moyens employés pour la fabrication. Le mobilier devait surtout s'adapter aux nouvelles conceptions pédagogiques, à une grande souplesse d'utilisation, à la polyvalence.

Comme nous venons de le voir sur cet exemple, la conception et la création du mobilier contemporain font appel à de nouvelles connaissances. Les données ergonomiques sont utilisées dans la conception des sièges et plus particulièrement des sièges destinés au transport ou aux collectivités, pour la recherche d'une position assise idéale selon l'usage du siège (siège de pilote, de conducteur, de dactylo). Il s'agit de sièges réglables permettant de respecter les différentes proportions anthropométriques et les différentes positions de l'usager. Il faut noter ici la complexité de l'utilisation des données anthropométriques ou des normes qui n'offrent qu'une valeur relative. Notre confort dépend de nos conventions sociales aussi bien que de la diversité de nos statures. Des recherches récentes portent également sur la conception de l'ameublement pour les handicapés moteurs, elles proposent des solutions adaptées.

Certains créateurs, depuis une vingtaine d'années, se sont efforcés, non pas de donner aux matériaux nouveaux l'aspect de matériaux déjà connus, mais un caractère propre ; en analysant notre manière de vivre, ils ont proposé des formes et des solutions nouvelles. Si l'apparition


1
E. Kossakowski - C.C.I. - Centre Georges-Pompidou
2
Peter Willi - C.C.I. - Centre Georges-Pompidou
3
Peter Willi - C.C.I. - Centre Georges-Pompidou
4
J. Guillot - TOP
5
J.-Ph. Charbonnier - TOP
6
G. Ehrmann - TOP
7
E. Kossakowski - C.C.I. - Centre Georges-Pompidou
8
Peter Willi - C.C.I. - Centre Georges-Pompidou




J.-Ph. Charbonnier - TOP

sur le marché d'un mobilier de série moulé ou embouti est récente, il ne faut cependant pas en oublier les sources, et le tableau chronologique des sièges nous rappelle les grands mouvements qui ont annoncé, depuis la fin du XVIIIe siècle, le design industriel : les Shakers, le mouvement Arts and Crafts, le Deutscher Werkbund, le mouvement de Stijl, le constructivisme, le Bauhaus, l'esprit nouveau et Le Corbusier, le New Bauhaus de Chicago.

Depuis les premiers meubles conçus et utilisés aux États-Unis par les Shakers vers 1850, en passant par la première chaise de série de M. Thonet vers 1859, les recherches de C. Mackintosh et l'emphase géométrique de ses modèles, les meubles de W. Taylor et de W. Morris pour la Red House de P. Webb, les chaises de Wright qui se rapprochent des recherches cubistes, depuis le fauteuil rouge et bleu de Rietveld (1917) qui reste pour nous l'image des principes de construction du mouvement de De Stijl, il semble qu'il y ait toujours eu un décalage entre ces recherches et l'ameublement couramment employé à la même époque, décalage qui persista pendant de nombreuses années. Les expériences fonctionnelles de M. Breuer, les recherches de Stijl semblent éloignées du mobilier effectivement en usage et contrastent avec la survivance de la tradition des décorateurs-ébénistes français copiant Riesener ou Jacob.

L'histoire du mobilier ne peut se dissocier de celle des matériaux nécessaires à sa fabrication. Le bois, l'industrie du bois règnent dans la fabrication traditionnelle. L'idée d'employer pour l'ameublement des matériaux autres que le bois est récente, de même l'idée des techniques empruntées à d'autres industries. Ces transferts techniques sont à la base de la conception du mobilier contemporain, comme nous allons le voir.

### *Les matériaux*

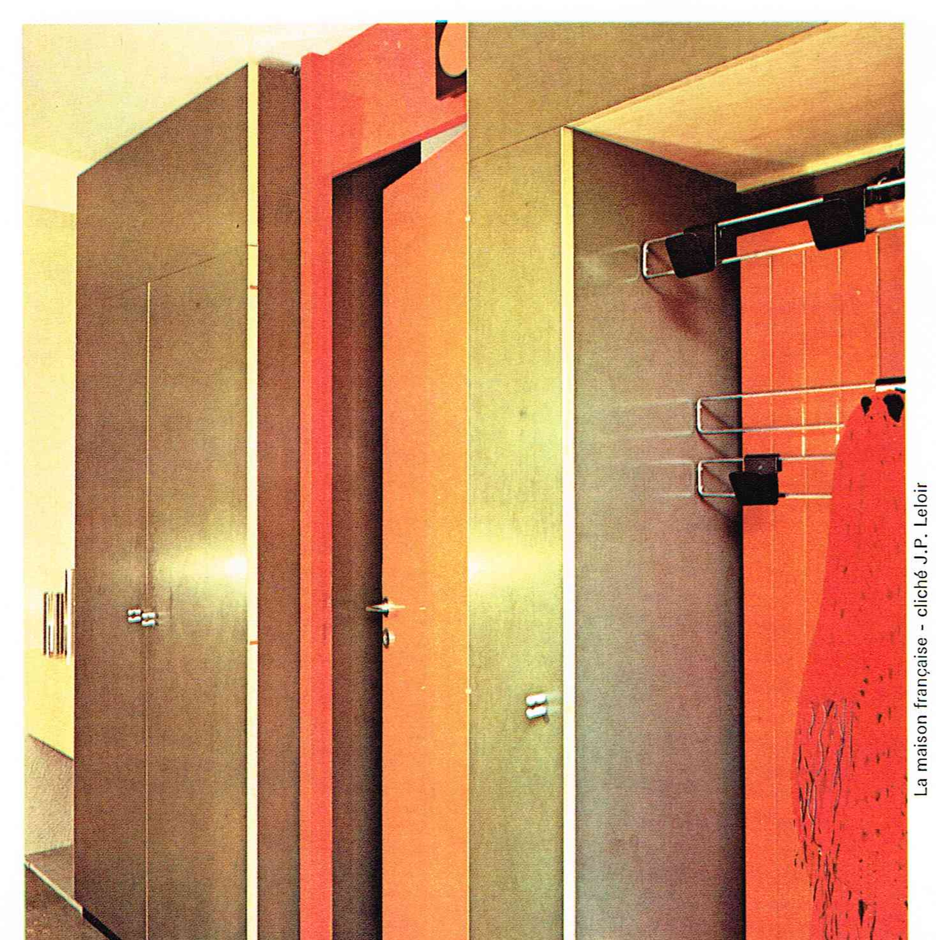
Ce mobilier actuel a évolué très vite grâce à une technologie nouvelle. Aux assemblages orthogonaux du bois a succédé la possibilité du moulage des matières plastiques, du cintrage des métaux. L'arrivée du bois moulé a aussi contribué à la modification des formes (angles arrondis). On retiendra une grande liberté d'expression autorisée par les nouveaux apports de la technologie et par les nouveaux matériaux.

### Le contre-plaqué moulé

Le bois employé traditionnellement dans l'ameublement a bénéficié de l'invention du contre-plaqué (feuilles de placage collées par pression en alternant le sens des fils), et ensuite de l'invention du contre-plaqué moulé par pression. On situe les débuts de l'utilisation de cette technique vers 1930 (le bois courbé avait, lui, déjà été utilisé par M. Thonet beaucoup plus tôt). Le Finlandais A. Aalto dessine pour la première fois en 1930 des meubles en bois moulé d'une grande simplicité. Il emploie le bouleau lamellé et courbé. En 1952, Arne Jacobsen, architecte danois, mettant en application les données de l'ergonomie, dessine des chaises d'une conception parfaite en employant le teck lamellé et moulé. En France, Jacques Dumond dessine en 1957 un des premiers modèles de série en contre-plaqué moulé. Il dessinera plus tard de nombreux modèles alliant à la fois les connaissances techniques traditionnelles et des formes actuelles parfaitement fonctionnelles. En 1943 déjà, il proposait un fauteuil dessiné selon des normes anatomiques.

Aux États-Unis, Charles Eames orientait ses recherches vers de nouvelles techniques, proposant en particulier d'employer certaines des techniques propres à l'aéronautique. Il sera également un des premiers à utiliser le contre-plaqué moulé, et sa chaise longue, dont l'assise et le dossier sont deux pièces autonomes, reste un exemple classique des premiers essais de l'emploi de ce matériau. Actuellement, on utilise le contre-plaqué moulé pour la fabrication en série d'assises de sièges. Des

▼ *L'emploi du stratifié s'est étendu aux éléments de rangement souvent intégrés dans l'architecture. Ici, aménagement de Max Garnault.*



La maison française - cliché J.P. Leloir



Architecte d'intérieur Berthet-Godet - photo Alain Dovifat

◀ *La première et principale utilisation des stratifiés dans l'ameublement fut celle des meubles de cuisine. Ici, une cuisine avec plan de travail en lamifié blanc de J.-L. Berthet.*

◀ *Page ci-contre, en haut : sièges des années 1959-1968.*
*a) siège de P. Paulin pour Artifort - ossature métallique, toile caoutchouc, mousse et jersey;*
*b) fauteuil J.-P. Laporte pour Thonet, contre-plaqué laqué, housse mobile, mousse polyester sur sangle lastex;*
*c) chaise de R. Tallon, pour Galerie Lacloche - siège chromé avec dosseret;*
*d) Fabricius et Kastholm (Danemark) pour Yvon Schlechter : chauffeuse, coque de bois moulé, acier inox, vachette;*
*e) Hugues Steiner pour Steiner - « Kaido » - mousse armaturée recouverte de jersey;*
*f) J.-Ph. Charbonnier - prototype en acier;*
*g) R. Tallon, tabouret chromé, aluminium poli et mousse de polyester;*
*h) Erwine Laverne pour Bofinger (États-Unis), cuir et métal.*

profilés de grande dimension offrent toute une gamme de variations de formes. On obtient un produit fini par débitage et usinage. Les modules ainsi créés forment des tables basses, des étagères, des éléments de rangements.

**Le stratifié**

C'est un matériau constitué par une superposition de couches de papier kraft imprégné de résines thermodurcissables que l'on expose à une température voisine de 150 °C et à une très forte pression (100 kg au cm²). Il y a formation d'un matériau homogène par polymérisation. On obtient des plaques d'une épaisseur variant autour de 15/10 de mm. La première feuille de papier peut être imprimée avant la polymérisation, ce qui donne des aspects de surfaces colorés ou imitant le bois, le liège... Certains de ces panneaux ont les caractéristiques de pouvoir se cintrer, se former.

Ce nouveau matériau de revêtement a d'abord été adopté par les fabricants traditionnels d'ameublement. Son aspect de surface permettait d'imiter les différentes essences de bois. Il résiste bien à la chaleur, aux rayures, à l'abrasion. Il a une bonne tenue à la lumière. Pour les fabricants, le coût d'installation est peu élevé. La première utilisation fut celle des meubles de cuisine, du mobilier de bureau pour collectivité. Son emploi est très étendu actuellement : mobilier pour enfants ou même mobilier de bibliothèque, tables basses ou plateaux de tables de salles à manger, aménagement des salles de bains.

**Le métal - Le fer, l'emploi du tube d'acier, l'acier inoxydable, l'aluminium**

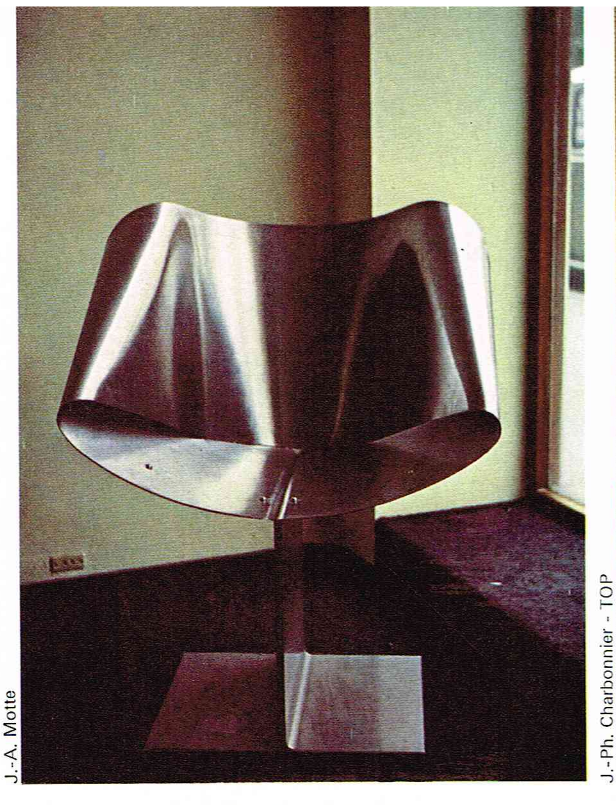
C'est au milieu du XIXe siècle que sont apparus les premiers meubles en fer dans l'ameublement. Dans un ouvrage de 1865, on peut lire : « A côté de l'industrie des meubles en bois exotique ou en bois indigène, il faut en citer une autre qui, éclose il y a à peine une trentaine d'années, a fait des progrès considérables, nous voulons parler de la fabrication des lits, des sièges pour jardin en fer plein et en fer creux laminé. » A ce moment, l'emploi de la *fonte* autorise la fabrication de




Bureau de France - cliché C. Braud

◀ *L'idée d'employer pour l'ameublement des matériaux autres que le bois est récente, de même que l'idée d'employer des techniques empruntées à d'autres industries. Ici, aménagement de bureau par Max Garnault.*

*▶ A gauche, les contraintes techniques imposées par l'acier inoxydable (ici, emploi d'une bande d'acier), le souci de l'unité du dessin ont abouti à cette forme qui se présente comme une recherche exigeante (siège de J. A. Motte). A droite, canapé boudin de P. Paulin pour Mobilier international.*



J.-A. Motte

J.-Ph. Charbonnier - TOP

piétement de bancs ou de tables dont l'aspect se surcharge d'éléments symboliques : courbes biomorphiques, rosaces, fleurs, allégories. Le moulage de fonderie autorise une exubérance formelle qui sera caractéristique du milieu du XIXᵉ siècle.

A partir des années 1925, c'est une tout autre démarche qui aboutira à l'emploi du *tube d'acier* dans l'ameublement. Deux modèles de chaises seront présentés à l'exposition du Werkbund en Allemagne, celle de Mart Stam et celle de Mies Van der Rohe. Toutes les deux utilisent pour la première fois la technique de la suspension en porte-à-faux *(cantilever)* en employant le tube d'acier coudé. Double innovation formelle, car, dans la chaise de Mies Van der Rohe, du même coup se trouvaient supprimés les pieds arrière des chaises et réalisée une amélioration fonctionnelle par l'élasticité de la forme. Au même moment, Breuer dessine des chaises en tube d'acier chromé, influencé par l'emploi de ces matériaux dans l'industrie du cycle. On citera aussi les recherches de Le Corbusier autour de 1927 (fauteuil et chaise longue de repos adaptables).

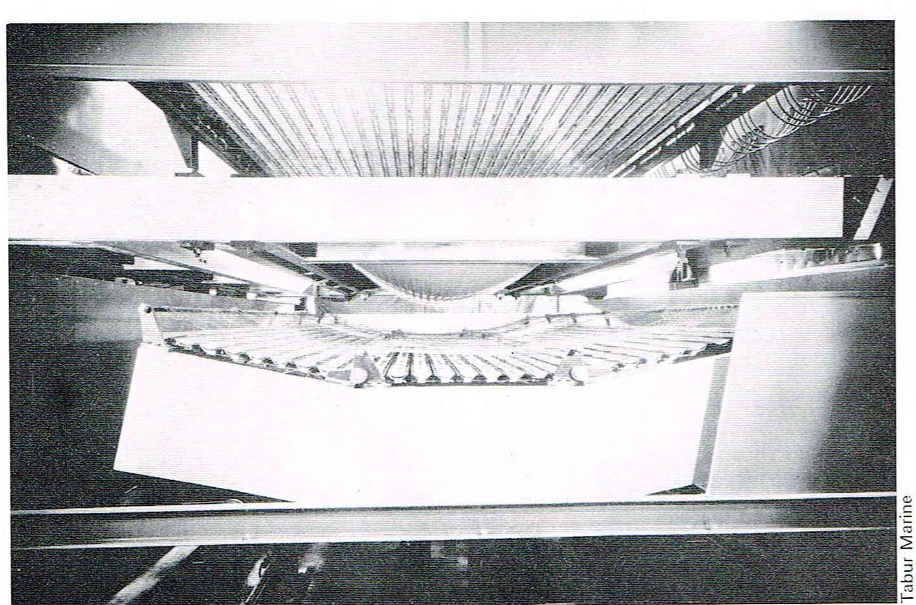
Ces modèles vont servir de références à certains modèles plus actuels. On pense au mobilier en tube laqué de Gae Aulenti (Italie). David Rowland dessine en 1970 une chaise en acier embouti sous pression, calculée avec précision, et qui permet, selon le texte du brevet, d'empiler quarante chaises sur une hauteur de 1,20 m. Ce sont aussi les recherches de Verner Panton, architecte danois qui, utilisant les mousses de plastique sur armature métallique, crée de nombreux modèles aux formes souples (1969). Le tube d'acier est aussi utilisé comme armature supportant des mousses de latex moulées. Ce sont les formes ondulantes et confortables des sièges de Pierre Paulin (1970) ou d'Olivier Mourgue.

L'emploi du *fil d'acier chromé* est dû à un sculpteur, Harry Bertoia, lorsqu'il propose sa fameuse famille de sièges dont les assises sont des treillis de fils d'acier (États-Unis, 1952).

L'*acier inoxydable* a fait son entrée récente dans l'ameublement grâce à l'utilisation de la tôle (tôles polies, tôles gravées, tôles minces plaquées ou tôles pliées), à la réalisation d'éléments emboutis ou pliés, et à l'utilisation de tubes assemblés par brasure, par soudure électrique par points. Les tubes carrés peuvent être cintrés. On citera les premières recherches de J. A. Motte qui sont très significatives dans l'emploi de ce nouveau matériau. La structure des sièges souligne la technique utilisée.

L'*aluminium* est d'un emploi nouveau. Il offre l'avantage d'être léger, de bien vieillir grâce aux différents traitements de surface. Il offre de bonnes caractéristiques mécaniques. De nombreuses variétés de formes peuvent s'obtenir par la fonderie. C'est cependant un matériau cher et difficile à employer. Il est principalement utilisé pour réaliser des piétements de chaises ou de tables et des pièces de quincaillerie. En France, en 1966, Roger Tallon proposait des modèles de sièges en aluminium et également une série de mobilier en matière plastique.

*▼ Thermoformage des matières plastiques.*



Tabur Marine

## Les matières plastiques

Au départ matériau de remplacement, les matières plastiques ont été utilisées — principalement aux États-Unis — pour copier des modèles anciens. Le polyuréthanne, par exemple, se prête admirablement au moulage des formes sculptées complexes : en France, on connaît les fausses poutres en chêne, certains éléments de mobilier. L'apport des matières plastiques ne se limite pas à la copie, loin de là ; il est fort important, et certains diffuseurs ont pu proposer au public des gammes complètes de mobiliers.

Les techniques de transformation des matières plastiques ont été exposées dans le volume *Technologie III*, fascicule 198, p. 289. Celles qu'utilise l'industrie de l'ameublement sont essentiellement les suivantes.

- L'*extrusion* permet de réaliser des plaques et des profilés. Cette technique est à la base du thermoformage.
- Le *thermoformage :* les matériaux employés sont l'ABS, le polystyrène, le polyméthacrylate. Cette technique permet, entre autres choses, d'envisager de petites séries (10 à 500 pièces). On utilise un moule en plâtre pour les très petites séries, un moule en bois, en polyester ou en aluminium pour des séries importantes.
- L'*injection* permet la réalisation de pièces de grande série. Cette technique atteint une grande précision dimensionnelle. Elle permet la confection de formes complexes — nervures et cavités. Cependant, la complexité

de la forme entraîne la complexité de l'outillage qui peut devenir très onéreux.

- Le *moulage à froid* peut être une technique manuelle à l'aide d'un pistolet ou peut se faire sous presse. On emploie du polyester armé de fibres de verre. Ce matériau a l'avantage d'être très résistant et offre une très bonne tenue à l'extérieur.
- L'*expansion* (ou le moulage des mousses). Cette technique emploie de la mousse de polyuréthanne à densité variable et utilise soit des moules en silicone ou en élastomère de polyuréthanne permettant des contre-dépouilles (petites séries 100 à 200), soit des moules en stratifié, en polyester armé de fibre de verre (100 à 1 500 pièces), soit des moules métalliques pour de grandes séries. Le matériau offre d'énormes avantages dans la conception des sièges par la possibilité de surmoulages de densités différentes.

Dans l'ameublement, les principales matières plastiques utilisées actuellement sont : le polypropylène, le polyéthylène, le polystyrène-choc, le polyuréthanne, le polyester et l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène).

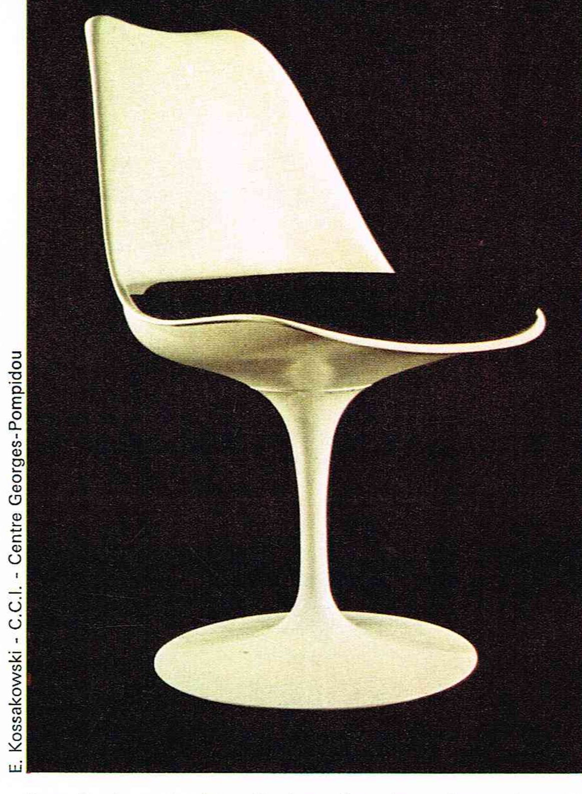
C'est à Eero Saarinen, architecte finlandais émigré aux États-Unis, que revient le mérite d'avoir utilisé pour la première fois les matières plastiques dans l'ameublement. Il dessine en 1956 sa fameuse chaise tulipe dont l'assise est en polyester moulé et fibre de verre, et dont le pied, unique et central, est en fonte d'aluminium. Cette création servira ensuite de schéma à de multiples autres dessins. Il en existe de nombreuses variantes et copies.

En Grande-Bretagne, en 1963, Robin Day dessine une chaise empilable destinée à de très grandes séries. Le piètement est en tube d'acier chromé, avec embouts de caoutchouc et la coquille en polypropylène.

En Allemagne, en 1966, Helmut Bätzner, architecte, dessine une chaise empilable de grande série en polyester armé de fibres de verre et moulée en une seule opération par moule et contre-moule sous pression. Cette chaise représente un aboutissement des techniques du moment et une réponse fonctionnelle : légèreté, maniabilité, empilage, inaltérabilité aux intempéries.

La Finlande est représentée en 1968 par Eero Aarnio qui oriente ses recherches vers l'utilisation du plastique dans l'ameublement et propose des modèles en polyester comme le fauteuil « sphère » (1966) et le fauteuil « Pastilli » (1968).

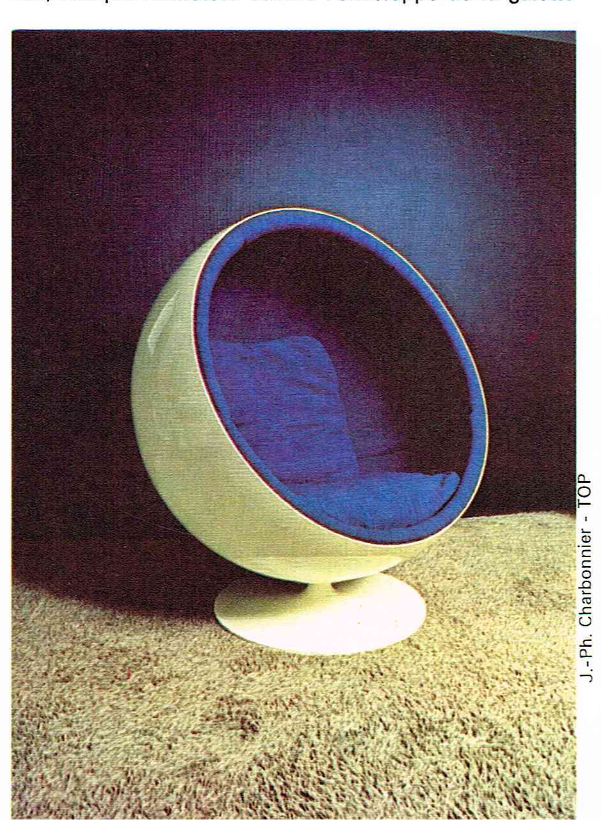
Dans ce domaine, l'influence des recherches italiennes autour des années 1960 a été très importante. Les designers italiens se sont orientés vers des solutions totalement nouvelles. Le siège « Memoria » est une structure gonflable qui épouse la forme du corps par le réglage de la pression. D'autres créateurs utilisent la mousse ultra-compressée qui s'expansera au contact de l'air, lorsque l'acheteur ouvrira l'enveloppe de la galette dont il vient de faire l'achat. On citera Anna Castelli, qui dessine en 1954 des éléments modulaires de cuisine et utilise les matières plastiques (l'ABS), et surtout Joe Colombo, qui a largement représenté l'Italie dans l'ameublement contemporain. Il dessine de nombreux modèles de sièges et, en 1968, propose un « système programmable pour habiter », qui est un « Meccano aux développements infinis composés de panneaux en équerre pouvant selon les cas être utilisés comme piètement, tables basses, bureaux, châssis pour fauteuils et lits ».


E. Kossakowski - C.C.I. - Centre Georges-Pompidou

◀ ***La chaise tulipe d'Eero Saarinen comprend une assise en polyester moulé et en fibre de verre et un pied unique et central en fonte d'aluminium, finition Rilsan (1956).***

D'autres matériaux sont employés dans l'ameublement contemporain, le fibrociment moulé (réalisation de mobilier d'extérieur), le carton (sièges d'enfants, éléments modulables de rangement), le rotin. La tôle laquée, dont l'emploi semblait jusqu'ici réservé au mobilier de collectivité, bureaux, hôpitaux, trouve sa place dans l'habitat particulier.

Certains matériaux obtiennent le droit d'apparaître dans le cadre du décor familial. Certaines recherches effectuées pour le dessin des sièges de collectivités ou destinés aux transports en commun ont des prolongements intéressants sur la conception des sièges de l'habitat particulier, sur la liberté de conception des formes, sur l'emploi de matériaux non traditionnels ou sur l'amélioration du confort.


J.-Ph. Charbonnier - TOP


P. Hinous - TOP

▼ ***Fauteuil « sphère » (1966) d'Eero Aarnio (Finlande). Chaises moulées de Joe Colombo aisément utilisables dans un jardin.***

revue Emboutéillage - conditionnement

▲ *Le conditionnement attire l'attention par sa forme, sa couleur et le graphisme publicitaire.*

▼ *Ces produits sont tous des boissons, et pourtant nous ne saurions les confondre. Ils ont tous la personnalité que leur confère leur conditionnement : forme du contenant, habillage et bouchage de celui-ci.*




E. Boubat - TOP

# EMBALLAGE ET CONDITIONNEMENT

Notions mal perçues, professions décriées et, selon certaine littérature, source de tous les maux de la terre, telles sont de prime abord les premières composantes externes qui caractérisent aux yeux de nombreuses personnes une des interprofessions les plus indispensables au monde dans lequel nous vivons.

Nous allons donc, dans les pages qui suivent, lever le voile sur ces notions en nous attachant à les lier au quotidien avant de donner une idée d'ensemble de la force économique que représente ce secteur. Nous développerons ensuite les techniques et technologies industrielles couramment mises en œuvre dans les ateliers de conditionnement. Un chapitre traitera à ce niveau de certaines opérations technologiquement superflues mais imposées par le paramètre consommateur inclus dans la notion de conditionnement. Le problème des déchets sera abordé par la suite avec référence à l'environnement. Notre conclusion sera le trait d'union entre toutes ces facettes sous les traits de la législation et de la réglementation qui se doivent de donner à chaque paramètre la place qui lui revient.

## *Ne pas confondre emballage et conditionnement*

De tout temps et sous toutes les latitudes, l'homme a eu besoin de transporter des produits d'un point à un autre : de la maison au lieu d'activité, de l'échoppe

voisine à son domicile, tout simplement d'un point à un autre d'une pièce, etc. Ces objets, ces produits transportés devaient l'être de façon simple et dans les meilleures conditions.

Nous en arrivons tout naturellement à la notion de support de transport dont découle la notion d'*emballage*. Le support de transport n'enveloppe pas obligatoirement le produit ou l'objet dans son intégralité, au contraire de l'emballage. Une barquette contenant un produit quelconque ne devient emballage que lorsqu'on lui ajoute un couvercle (cas du sucre) ou un film plastique (cas des bouteilles ou des boîtes regroupées en fardeaux).

L'emballage doit son développement à celui des moyens de transport, qui, tout en facilitant les échanges, ont imposé des contraintes supplémentaires. Ils ont exigé des produits à durée de vie allongée, des produits mieux protégés, plus compacts, offrant des volumes morts plus réduits, etc. Nous noterons d'ailleurs à ce niveau que l'homme, en créant l'emballage, n'a fait que transposer une notion des plus naturelles. Nous aurions pu commencer notre propos par la phrase lapidaire : « Au commencement était l'emballage, ou presque », car, dans la nature, tout est protégé, tout est emballé : la graine est enfermée dans la coque du noyau du fruit, lequel est à son tour protégé par sa peau ; de même le pépin de pomme ou de poire deux fois protégé ; de même le petit pois dans sa gousse ; le germe de blé dans le grain, et même l'embryon dans le corps des mammifères.

Ainsi, l'emballage est noble ; nous remarquerons encore que la nature a su en créer de beaucoup plus sophistiqués que ceux qui font l'admiration de nos consommateurs béats. Même les problèmes de calage pour le transport ont été résolus, témoin ces jumeaux ou ces triplets douillettement au chaud dans le sein de leur mère et que le liquide amniotique protège de l'extérieur. Force nous est de constater que l'homme demande à son emballage les mêmes caractéristiques que celles que la nature a conférées à ses « enveloppes » : rôle de protection, rôle de transport.

Poursuivant nos recherches parmi les trésors dont la nature nous gratifie, nous avons encore la surprise de nous apercevoir qu'elle a découvert il y a quelques millénaires la notion de *conditionnement*, car enfin, pourquoi les produits de l'agriculture ont-ils des formes différentes, des couleurs variées ? Il faut bien qu'ils se différencient les uns des autres ! Allons plus loin encore et prenons conscience — des expériences scientifiques l'ont prouvé — que ces formes et ces couleurs ont un rôle : ce sont elles qui attirent les insectes, les animaux. Cette attitude réflexe existe, c'est évident chez le consommateur qui passe devant un linéaire de grande surface. Certains points, certains emballages, certaines présentations attirent son attention. D'autres, au contraire, le laissent sans réaction.

L'emballage met en jeu un matériau brut qui n'a d'autre but que celui de protéger le mieux possible le produit ou l'objet qu'il contient en vue de son transport ou de son stockage plus ou moins prolongé ; le meilleur emballage sera, parmi les solutions possibles, la solution la plus simple, et globalement la moins coûteuse. Nous reviendrons sur cette notion ultérieurement.

Dès que l'on ajoute un accessoire à cet emballage sans personnalité, ou dès que l'on sort de la forme la plus rationnelle, on entre dans le domaine du conditionnement : c'est ainsi que l'on peut considérer la bouteille de vin classique d'un litre (litre syndical « 6 étoiles ») comme un emballage, alors que toute bouteille fantaisie de la même contenance pourra être qualifiée de conditionnement ; la bouteille nue est un emballage, alors que la bouteille habillée a subi l'opération de conditionnement.

Un autre distinguo possible est le suivant : l'emballage est un fait tangible et objectif, alors que le conditionnement fait appel à des notions éminemment subjectives.

## *Panorama de l'interprofession de l'emballage et du conditionnement*

Il est difficile de chiffrer avec précision l'interprofession de l'emballage et du conditionnement dans la mesure où toutes les industries, à quelques exceptions près, font appel aux emballages pour l'expédition de leurs produits, et que les produits de grande distribution sont tous soumis au processus de conditionnement. Le *tableau* I nous semble plus parlant par ses chiffres qu'un long discours. Il fait le point sur la consommation des divers matériaux utilisés pour l'emballage et le conditionnement des produits, qu'ils soient alimentaires ou non.

Globalement parlant, ce sont quelque 7,5 millions de tonnes de matériaux qui sont transformées annuellement en emballages ou qui entrent dans la fabrication des accessoires du conditionnement (bouchons, étiquet-

**Tableau I**

**Matériaux d'emballage en France en milliers de tonnes**

| Matériaux | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fer-blanc** | | | | | | | |
| Production d'emballages, total | 489 | 492 | 527 | 541 | 485 | 485 | 538 |
| dont boîtes de conserves | 313 | 300 | 312 | 318 | 291 | 269 | 321 |
| dont emballages divers | 146 | 162 | 180 | 187 | 161 | 181 | 183 |
| dont bouchage | 30 | 30 | 35 | 36 | 33 | 35 | 34 |
| **Aluminium** | | | | | | | |
| Consommation d'emballages, total | 42 | 45 | 48 | 52 | 50 | 52 | 53 |
| dont feuille mince pour enveloppage, nue ou en complexes | 20 | 20 | 21 | 21 | 22 | 22,5 | 23 |
| dont capsules et coupelles | 4 | 5 | 6 | 8 | 6,5 | 7 | 7,2 |
| dont tubes souples | 5 | 6 | 6 | 7 | 6,5 | 6,5 | 6,3 |
| dont boîtes étuis, aérosols | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 16 | 16,3 |
| **Verre** | | | | | | | |
| Production d'emballages, total | 1 682 | 1 879 | 2 023 | 2 282 | 2 219 | 2 293 | 2 444 |
| dont bouteilles | 1 407 | 1 579 | 1 703 | 1 958 | 1 925 | 1 973 | 2 100 |
| dont flacons et pots | 275 | 300 | 320 | 324 | 294 | 320 | 344 |
| **Papiers et cartons** | | | | | | | |
| Production d'emballages, total | 2 341 | 2 513 | 2 754 | 2 940 | 2 368 | 2 690 | 2 793 |
| Papier, production pour emballages, total | 768 | 701 | 745 | 787 | 831 | 662 | 738 |
| dont sacs grande contenance | 234 | 245 | 264 | 281 | 222 | 240 | 260 |
| dont sacs petite et moyenne cont. | 79 | 77 | 77 | 84 | 71 | 66 | 68 |
| dont papiers traités et complexes | 88 | 93 | 96 | 100 | 115 | 130 | 140 |
| dont papiers en l'état | 300 | 330 | 350 | 366 | 254 | 302 | 300 |
| **Carton ondulé** production, total | 1 260 | 1 363 | 1 487 | 1 531 | 1 266 | 1 448 | 1 500 |
| **Carton plat** consommation, total | 380 | 445 | 480 | 578 | 440 | 504 | 525 |
| **Bois** | | | | | | | |
| Total, production | 1 200 | 1 300 | 1 400 | 1 342 | 975 | 1 300 | 1 300 |
| dont caisserie | 647 | 748 | 829 | 815 | 600 | 775 | 750 |
| dont emballages légers | 520 | 520 | 540 | 498 | 350 | 500 | 525 |
| dont fibre | 33 | 32 | 31 | 29 | 25 | 25 | 25 |
| **Jute** | | | | | | | |
| Total emballages | 21 | 19 | 17 | 15 | 12 | 10 | 8 |
| **Pellicule cellulosique** | | | | | | | |
| Consommation, total | 26 | 30 | 32 | 32 | 24 | 28 | 28 |
| **Plastiques** | | | | | | | |
| Consommation, total | 397 | 474 | 540 | 577 | 501 | 560 | 599 |
| dont film de PEbd et end. | 171 | 185 | 200 | 224 | 189 | 210 | 225 |
| dont film de PEhd | 0,3 | 0,8 | 1,5 | 2 | 3,5 | 4 | 6 |
| dont film de PP | 1,2 | 1,8 | 2 | 3 | 3,5 | 4 | 5 |
| dont film de PA | 2,5 | 3,2 | 3,5 | 4 | 4 | 2,5 | 3,5 |
| dont film de PVC rigide | 12 | 16 | 18 | 22 | 20 | 21 | 22,5 |
| dont film de PVC souple | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| dont film de PVDC et end. | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| dont film de polyester | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,5 |
| dont bouteilles PVC | 80 | 110 | 130 | 120 | 110 | 130 | 135 |
| dont bouteilles PE (85 % PEhd) | 44 | 52 | 63 | 70 | 63 | 69 | 75 |
| dont récip. thermoform. PS | 36 | 45 | 55 | 62 | 43 | 48 | 51 |
| dont bouchages ts plast. | 26 | 30 | 33 | 35 | 32 | 34 | 36 |
| dont PS expansé moulé | 12 | 15 | 16 | 16 | 14 | 17 | 18 |
| dont PS expansé extrudé | 2,5 | 3,2 | 4,2 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 |

▲ *Tableau I : matériaux d'emballage en France, en milliers de tonnes. (Source : étude annuelle de la revue* Emballages, *publiée en décembre 1977.)*

tes, etc.). Cela représente un chiffre d'affaires dépassant quinze milliards de francs. Quelque 170 000 familles vivent de cette industrie. Ainsi que nous le disions plus haut, il faut ajouter à ces chiffres ceux qui concernent les constructeurs de matériels permettant la mise en œuvre des divers matériaux et même, puisque le recyclage est désormais à l'honneur, les chiffres afférents aux professions qui vivent de la récupération et de la transformation industrielle des matériaux d'emballage récupérés.

## *L'emballage : ses tenants et ses aboutissants*

Protection et transport, tels sont les rôles de l'emballage, avons-nous dit! Nous sous-entendions évidemment la présence d'un produit, d'un contenu, et c'est en fonction de ce produit que l'emballage sera conçu dans son détail. Un emballage type boîte d'allumettes conviendra très bien pour des clous, alors qu'il ne viendra à l'idée de personne d'enfermer un liquide dans un tel contenant.

Il nous faut donc connaître le contenu et son devenir. Sera-t-il consommé rapidement? Devra-t-il être transporté loin du lieu de production ou de conditionnement? Et comment? Est-il destiné à une collectivité, à la grande distribution, au commerce traditionnel, aux circuits C. H. R. (cafés-hôtels-restaurants)? Un flot de questions dont les réponses orienteront le choix final quant au matériau à mettre en œuvre, quant à la dimension de l'emballage, quant aux accessoires à prévoir.

Avant d'aller plus avant dans ce développement, nous voulons faire remarquer qu'il existe plusieurs types d'emballages : nous appellerons *emballages primaires* ceux qui sont directement au contact du produit : feuille enveloppant la tablette de chocolat, boîte contenant des légumes, un liquide. Ce sont ces emballages qui passent sur les machines industrielles, l'un après l'autre, dans l'atelier de conditionnement.

Les *emballages secondaires* sont destinés à la fois au transport et à la présentation : présentation dans les grandes surfaces, sur les linéaires; transport par la ménagère du lieu d'achat au domicile. Tels sont les fardeaux d'eaux de source ou les fardeaux de bouteilles de bière sous film rétractable ou sous carton plat. Tels sont aussi les suremballages contenant un flacon de parfum, une bouteille d'apéritif, etc.

Quant aux *emballages tertiaires*, ils sont exclusivement emballages de transport. Ils permettent de transporter un maximum de produit à chaque opération. Les palettes sous housse rétractable, les caisses-palettes, les conteneurs-fils, les containers font partie de cette catégorie.

### *Emballage et contenu*

Nous nous intéressons particulièrement, à ce niveau, à l'emballage primaire. Comment peut-on définir le produit à emballer? Il possède :

— une nature physique : est-il solide, gazeux? s'agit-il d'un liquide plat, visqueux, huileux, gazeux? etc.;

— une nature chimique : a-t-il une réaction acide, alcaline? est-il oxydable? etc.;

— une nature bactériologique;

— une densité : caractéristique importante pour définir la résistance du matériau à prévoir;

— une nature alimentaire ou non.

Il peut en outre :

— avoir subi ou devoir subir dans son emballage certains traitements physiques : emballage à froid ou à chaud, pasteurisation, stérilisation, rayons gamma, etc.

Importent encore :

— les conditions d'emballage : température, pression, etc.;

— les conditions climatiques : pour le conditionnement du produit, pour son transport, pour sa distribution et sa vente.

Revenons un peu sur certains paramètres pour mieux en comprendre la portée. Le risque d'oxydation du produit conduit à choisir un matériau qui fait barrière à l'oxygène, mais aussi qui ne laisse pas passer les radiations lumineuses oxydantes, notamment les ultraviolets. C'est ainsi que l'on utilise une couche de papier aluminium en sandwich entre deux couches de polyéthylène dans les emballages pour jus de fruits ou que l'on teinte le verre et traite le plastique pour s'affranchir des rayons ultraviolets nocifs à la bière.

L'état bactériologique des produits alimentaires est un souci de tous les instants pour le conditionneur qui doit choisir un matériau stérile ou stérilisable. On flambe les boîtes-métal; on traite les complexes-carton en laiterie par l'eau oxygénée que l'on évapore ensuite, avant remplissage.

Un produit alimentaire apporte des contraintes particulières, car il peut y avoir des risques pour la santé du consommateur. Outre les risques dus à des développements microbiens, les pouvoirs publics ont voulu réglementer les conditions du contact matériau-produit alimentaire. Nous nous référons sur ce sujet à une directive européenne publiée en 1972 qui reprend de nombreuses dispositions de la réglementation française existant antérieurement, notamment la notion de *listes positives.* « Tout ce qui n'est pas expressément autorisé est interdit. » Des listes ont été dressées de substances acceptées après tests et jugées sans risque pour le consommateur. Le fabricant peut élaborer l'emballage qu'il souhaite à la condition expresse de choisir ses « ingrédients » dans les substances autorisées. Il est, bien entendu, possible de proposer des substances nouvelles qui pourront être acceptées et venir compléter la liste dès lors qu'il aura été prouvé qu'elles sont sans danger. Cette notion demeure valable pour les vernis qui recouvrent l'intérieur des boîtes en fer-blanc et pour tous les bouchons. Par ailleurs, une limite de migration des composants de l'emballage vers le produit a été fixée au niveau européen, qu'il convient de ne pas dépasser. Mentionnons également à ce niveau le cas particulier des eaux minérales soumises à autorisation complémentaire du ministère de la Santé et de la Sécurité sociale. Si le verre est accepté sans réticence aucune, le matériau plastique doit recevoir un agrément particulier. Cet agrément concerne uniquement le couple *compound défini-eau de source déterminée* (le compound est la matière première utilisée pour la fabrication des récipients plastiques). Il n'est pas question d'utiliser ce même compound pour fabriquer des récipients destinés à contenir l'eau jaillissant de la source voisine, aussi rapprochée soit-elle de la première.

En cas de traitement physique faisant suite à l'opération d'emballage, le contenant devra être en mesure de tenir parfaitement à cette opération. C'est ainsi qu'un complexe à base de carton ne convient absolument pas s'il faut appertiser le produit après conditionnement, puisque l'on plonge le récipient dans l'eau. En cas de pasteurisation ou de stérilisation, opérations qui provoquent un échauffement entraînant simultanément une dilatation volumétrique du contenu et une augmentation de pression dans l'espace mort de la boîte ou de la bouteille, il convient de prévoir un matériau supportant températures et pressions élevées. A noter que, si l'on connaît depuis quelque temps déjà les plastiques stérilisables, ce n'est que tout récemment que la première boîte de conserve en matière plastique a fait son apparition outre-Atlantique.

### *Ce que demande à l'emballage le conditionneur*

Le conditionneur veut, bien entendu, que le produit qu'il a amoureusement élaboré parvienne dans un état d'égale qualité au consommateur final, d'où le choix du matériau.

Mais il faut aussi que cet emballage soit susceptible d'accepter les cadences imposées par les machines industrielles. Il existe des machines qui remplissent jusqu'à 100 000 bouteilles de 50 centilitres par heure; certaines autres fabriquent jusqu'à 16 cartouches de chasse par seconde. A ces vitesses, la bouteille instable tombe, la bouteille trop fragile ou trop légère se casse, l'emballage possédant une ouverture étroite ne se remplit pas complètement. Ce ne sont là que quelques exemples montrant combien la conception d'un emballage est importante.

Autre paramètre d'importance : le coefficient d'efficacité de l'emballage, qui doit être le plus proche possible de 1. Ce coefficient mesurant le rapport du volume (ou du poids) du contenu au volume (ou au poids) de l'ensemble contenant-contenu influe énormément sur le prix de revient du stockage dans les entrepôts. Plus on s'éloigne de la valeur 1, plus le stockage coûte cher. Si




◀ *Clayette en Akylux pour l'emballage des plants de pommes de terre. Ce matériau, facile à imprimer, remplace avantageusement le carton dès que des conditions particulières exigent un emballage insensible à l'humidité.*

document groupe de Kaysersberg

le coefficient d'efficacité volumétrique s'éloigne trop de 1, cela signifie, au niveau de l'emballage primaire, un emballage trop grand pour le contenu (présentation jugée plus tard trompeuse par le consommateur) ; au niveau de l'emballage secondaire ou de l'emballage tertiaire, cela implique une mauvaise étude de ce dernier ou la nécessité de revoir la forme et le volume de l'emballage primaire. C'est à cette notion que se rattache l'emballage-module de la palette. Si le coefficient d'efficacité pondéral s'éloigne trop de 1, cela peut signifier que l'on a choisi un emballage peut-être trop gros ou peut-être trop grand. Mais une chose est certaine, on retrouvera cet excédent de poids sur les zones de stockage, ce qui pourra imposer dans certains cas des gerbages à hauteur plus réduite ou, si l'on désire conserver la hauteur de stockage, imposera de prévoir des sols plus résistants.

A noter encore que l'industriel n'aime pas être contraint à envisager des équipements spéciaux imposés par l'emballage choisi. Il préférera utiliser un matériel de série éventuellement amélioré à l'usine plutôt qu'un prototype qui risque de lui apporter plus de déboires que de satisfactions. Il préférera aussi aux emballages préformés les découpes à monter et les emballages à plat qui, peu volumineux, se stockent sans difficulté.

## *Emballage et transport*

Tous les moyens de transport étant possibles *a priori*, l'emballage gagnera toujours à être le plus compact et le plus léger possible pour gagner de la place et du poids.

En outre, c'est là que règne en maître l'emballage tertiaire que nous avons défini plus haut. Compte tenu des effets liés au transport (accélérations, chocs), les charges devront être parfaitement formées et stables, c'est pourquoi on utilise les techniques de cerclage des charges, de houssage des palettes, de dépôt de colles froides ou thermofusibles entre les cartons pour assurer l'unité de la charge, etc. Les emballages de regroupement (casiers, caisses, cartons) devront être suffisamment résistants pour ne pas se déformer ou se rompre sous l'effet de mouvements répétés transversaux. Comme dans le cas de la palettisation, l'emballage unitaire de chargement gagnera à être un module du plateau des camions ou de celui des wagons, selon le moyen de transport utilisé.

Citons encore le cas particulier du transport maritime, pour lequel les emballages doivent en plus posséder des propriétés de résistance à l'air salin. Il existe des traitements du carton qui le rendent insensible à l'eau. L'utilisation de palettes plastiques permet d'éviter les ennuis de la palette bois qui, très vite, pourrit.

Le retour en usine des emballages ou supports de transport coûte cher. Aussi a-t-on intérêt à s'équiper en matériels n'occupant qu'un faible volume à vide : feuilles-palettes au lieu de palettes, palettes emboîtables, casiers gerbables - emboîtables, par exemple.

## *Point de vue de la distribution sur l'emballage*

Autant sinon plus encore que l'industriel conditionneur, l'homme de la distribution met l'accent sur le prix de revient du stockage, qu'il cherche à limiter le plus possible. Nous retrouvons donc la notion de coefficient d'efficacité évoquée plus haut. Pour lui, la solution la meilleure sera toujours celle qui réduit ce stockage au minimum, voire même l'élimine totalement. Il faut se rendre compte que c'est la grande distribution qui, voulant supprimer les stocks d'emballages rendus par la clientèle, a incité au développement des emballages non retournables.

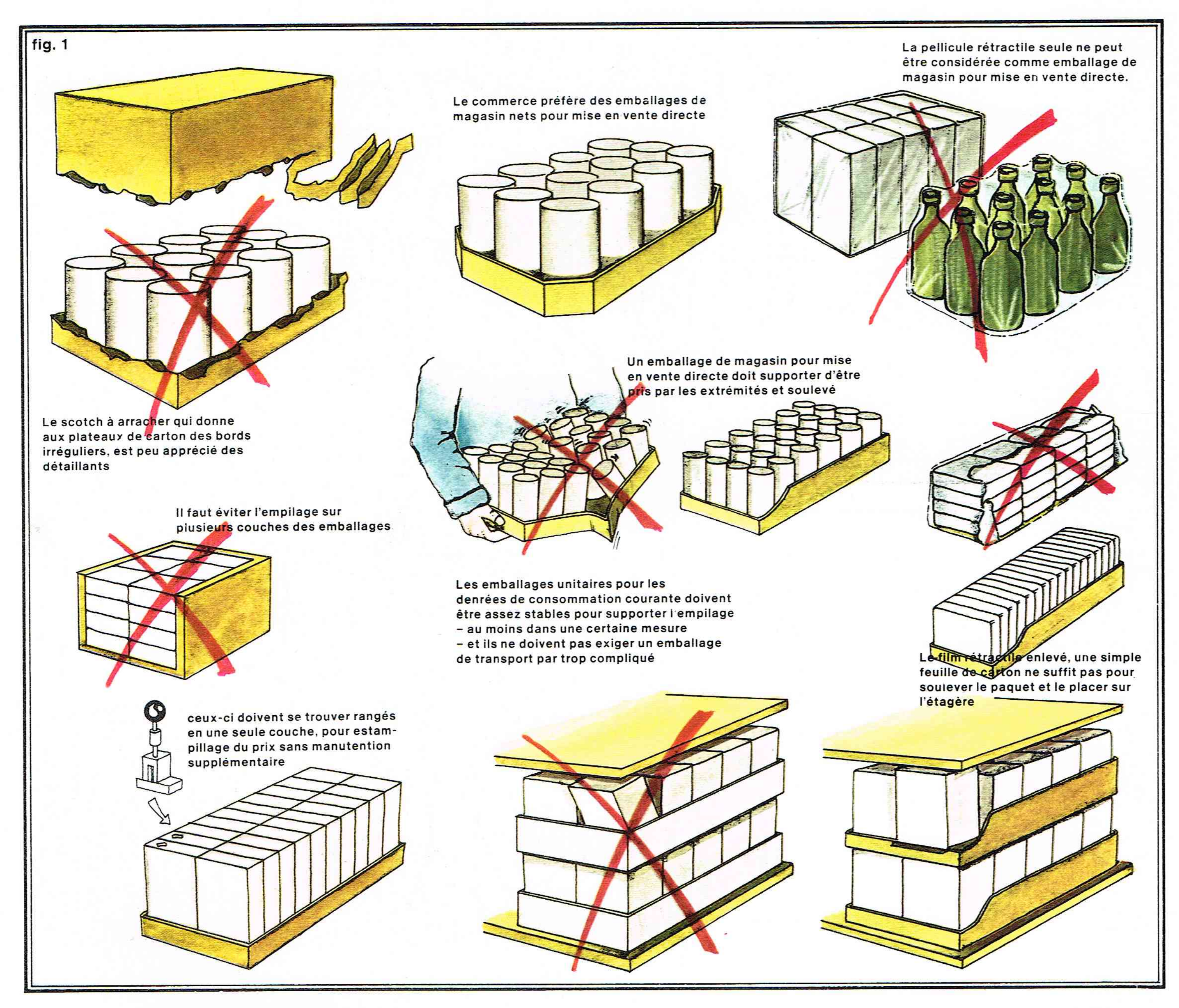
Aisément manutentionnable, l'emballage dont rêve le distributeur devra en outre pouvoir se positionner facilement dans les linéaires. Il faudra notamment qu'on puisse, sans manutention supplémentaire, apposer l'étiquette de vente mentionnant le code article et son prix sur les emballages regroupés pour le transport en caisses, en caisses-palettes, etc. Dans cet ordre d'idée, la priorité sera donnée aux suremballages qui laissent visibles et disponibles à la vente le produit moyennant une opération simple (découpage de la housse, libération d'un rabat ou d'un couvercle, etc.).

La *figure* 1 donne, sous forme de schémas simples, l'ensemble des impératifs prioritaires auxquels doit satisfaire l'emballage vu par les yeux de notre distributeur.

Nous ajouterons à ces paramètres la composante décompte des achats au niveau des caisses. Des études de rentabilité ont été effectuées, selon lesquelles l'enregistrement par la caissière d'un achat n'est pas rentable pour la grande surface en dessous d'un certain montant unitaire, lequel a été calculé avec précision. C'est ce qui explique au niveau industriel, à la demande de la grande distribution, le développement des emballages de vente regroupant plusieurs yaourts, plusieurs bouteilles, plusieurs piles électriques, etc.

## *Les paramètres économiques de l'emballage*

Ainsi que nous l'avons déjà signalé, l'emballage doit avoir un prix de revient aussi faible que possible, ce que l'on peut obtenir en agissant sur l'un ou l'autre des paramètres suivants : la nature du matériau, son épaisseur, la quantité utilisée. Économiquement parlant, un bon emballage doit économiser plus qu'il ne coûte. On fera intervenir tous les facteurs influant sur ce coût, depuis la naissance de l'emballage jusqu'à sa destruction totale.




▲ ***Figure 1 : quelques caractéristiques de l'emballage souhaité par la distribution.***

Le problème des déchets est donc crucial, et le bilan économique global peut amener, dans certains cas, à privilégier un matériau dont la mise en œuvre coûte plus cher mais dont le recyclage est plus aisé. Sont également à prendre en compte le volume occupé en cours de stockage (coefficient d'efficacité volumétrique), les éventuelles économies de main-d'œuvre réalisables et autres services aux divers stades de la vie de l'emballage.

Rappelons une fois encore qu'il importe de bien cerner le but poursuivi dans l'élaboration de l'emballage. L'adage longtemps en application du « Qui peut le plus, peut le moins » doit absolument être proscrit : il est caractéristique d'un emballage mal étudié. Les principales questions que tout bon concepteur devrait se poser sont les suivantes :

— Cet emballage a-t-il une raison d'être? Si l'écrin du flacon de parfum s'explique, il serait absurde de concevoir un emballage carton pour une bouteille de vin de consommation courante. A moins évidemment que vous ne deviez confier cette bouteille à une société de transport ou à l'office des postes !

— Cet emballage ne peut-il utiliser un matériau moins cher ?

— Cet emballage a-t-il besoin d'être aussi rigide? aussi lourd ?

— Ne peut-on simplifier le système utilisé ?

— Ce système répond-il aux paramètres qui régissent le cycle de vie du produit ?

C'est ainsi que l'on a assisté à la disparition des croisillons chaque fois que la chose se révélait possible dans les caisses carton dites américaines. Puis est apparue la technique du « wrap-around » ou de l'enveloppage des charges grâce à laquelle les surfaces de carton nécessaires ont pu être réduites. Vint ensuite l'emballage composite carton-plastique avec le conditionnement en barquettes sous film rétractable ou étirable. En matière de palettisation, le feuillard plastique plus léger a détrôné le feuillard métal pour l'opération de cerclage. L'utilisation de la housse rétractable s'est aussi généralisée. Depuis quelque temps, on assiste à un certain développement du film étirable dans ce même domaine.

Au niveau national, il convient également de prendre en compte les disponibilités en matières premières. La France doit importer la majeure partie des fournitures pour le secteur de l'emballage, alors qu'elle dispose de ressources pour ce qui est du papier et de l'aluminium, ce qui devrait conduire à privilégier ces matériaux. Cette idée est toutefois un peu utopique dans la mesure où la mise en œuvre de l'aluminium utilise beaucoup d'énergie, cependant que notre pâte à papier est inapte à la fabrication d'emballages-carton de bonne tenue. C'est ainsi que l'élaboration des complexes à base de carton utilise des produits importés des pays scandinaves. Mais le recyclage de ces produits, déjà entré dans les mœurs, permet d'éviter une trop forte hémorragie de devises.

On retrouve le papier recyclé dans les journaux, les sacs grande contenance, les emballages de regroupement ou d'expédition en carton plat et en carton ondulé, etc. Nous reviendrons ultérieurement sur le problème important du recyclage des matériaux.

## Les matériaux d'emballage

Tous les matériaux sont utilisés dans le domaine de l'emballage. Ils peuvent l'être seuls ou en association sous forme d'emballage composite ou complexe.

### Le verre

C'est certainement le plus ancien des matériaux utilisés dans l'emballage, notamment pour le transport et la manutention des liquides. On lui attribue de nombreuses qualités qui expliquent son développement prodigieux. Parmi celles-ci, citons celles qui nous semblent les plus importantes :

— le verre peut être considéré comme chimiquement inerte lors de son utilisation avec les produits alimentaires ;

— le verre est hygiénique ; il se lave remarquablement bien ;

— le verre est imperméable ; les gaz, la vapeur, les liquides et les odeurs ne le traversent pas ;

— le verre n'a pas d'odeur et ne retient pas les odeurs, ce qui est extrêmement important pour les produits alimentaires ;

— le verre est rigide ; il conserve donc sa forme d'origine ;

— le verre est transparent ; il permet de voir les produits contenus et de contrôler leur pureté ;

— le verre résiste aux chocs thermiques nécessaires dans les opérations de stérilisation ; il est stable vis-à-vis de la température ;

— le verre a une résistance mécanique élevée qui lui permet de résister aux chocs dus au passage sur les chaînes d'embouteillage à haut rendement ; il permet un encaissage et un décaissage mécaniques ; il permet de résister à de fortes pressions internes ;

— le verre peut être obtenu dans les formes les plus diverses, en production de très grandes séries, et peut être travaillé à des cotes très précises ;

— le verre peut être obtenu dans des colorations très variées ; si cela est nécessaire, le choix d'une couleur convenable assure la protection contre les radiations nuisibles ;

— le verre a un prix de revient relativement bas ;

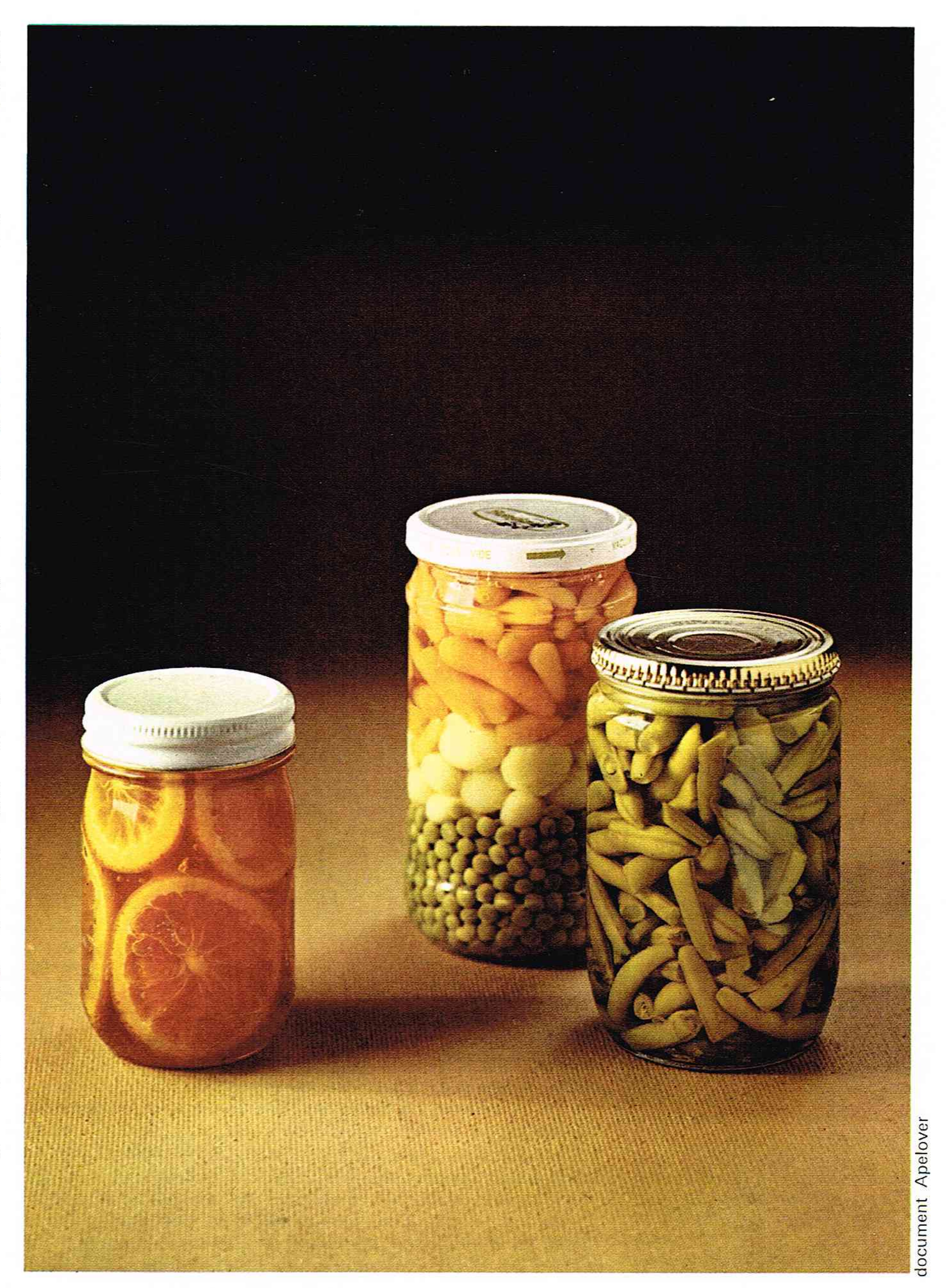
— le verre peut être allégé dans des proportions très importantes, et son comportement amélioré par des traitements de surface ;

— le verre est un matériau connu depuis longtemps ; les problèmes comme le bouchage, l'étiquetage, la décoration sont bien résolus.

Composé à 70 % de silice, le verre comporte en quantités moindres d'autres éléments tels qu'oxyde de sodium, chaux, magnésie et alumine. Suivant les propriétés recherchées, on adjoindra à ces composants de base certains oxydes métalliques tels qu'oxydes de fer, de chrome ou de nickel responsables de la couleur finale. On distingue les verres blancs, mi-blancs, champagne clair et champagne foncé, feuille morte, jaunes ou ambre.

Réputé chimiquement inattaquable, sauf par l'acide fluorhydrique, le verre subit toutefois des modifications de surface au contact des produits qu'il contient. Elles sont de faible importance, et des traitements de surface permettent, en cas de besoin, de les réduire davantage encore. De ce fait, on peut considérer, à bon droit, que la réputation d'innocuité dont jouit le verre est parfaitement vérifiée, notamment en ce qui concerne les produits alimentaires.

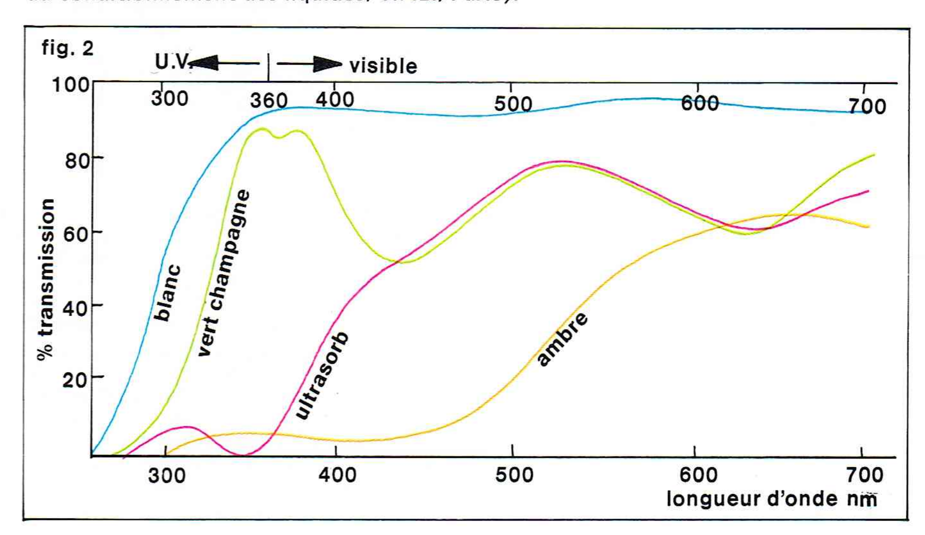
Quant à la coloration du verre, si elle s'explique par certaines traditions (la bouteille de champagne est verte ; la bouteille d'eau minérale est blanche, etc.), elle trouve aussi sa raison d'être dans les propriétés barrières qu'elle confère au matériau, notamment vis-à-vis des rayonnements lumineux. Ces propriétés sont particulièrement appréciées pour le conditionnement de la bière, de l'huile et de certaines conserves alimentaires. La courbe de la *figure* 2, qui donne le taux de transmission de différents verres de même épaisseur suivant la longueur d'onde des radiations, montre que les verres blancs ou mi-

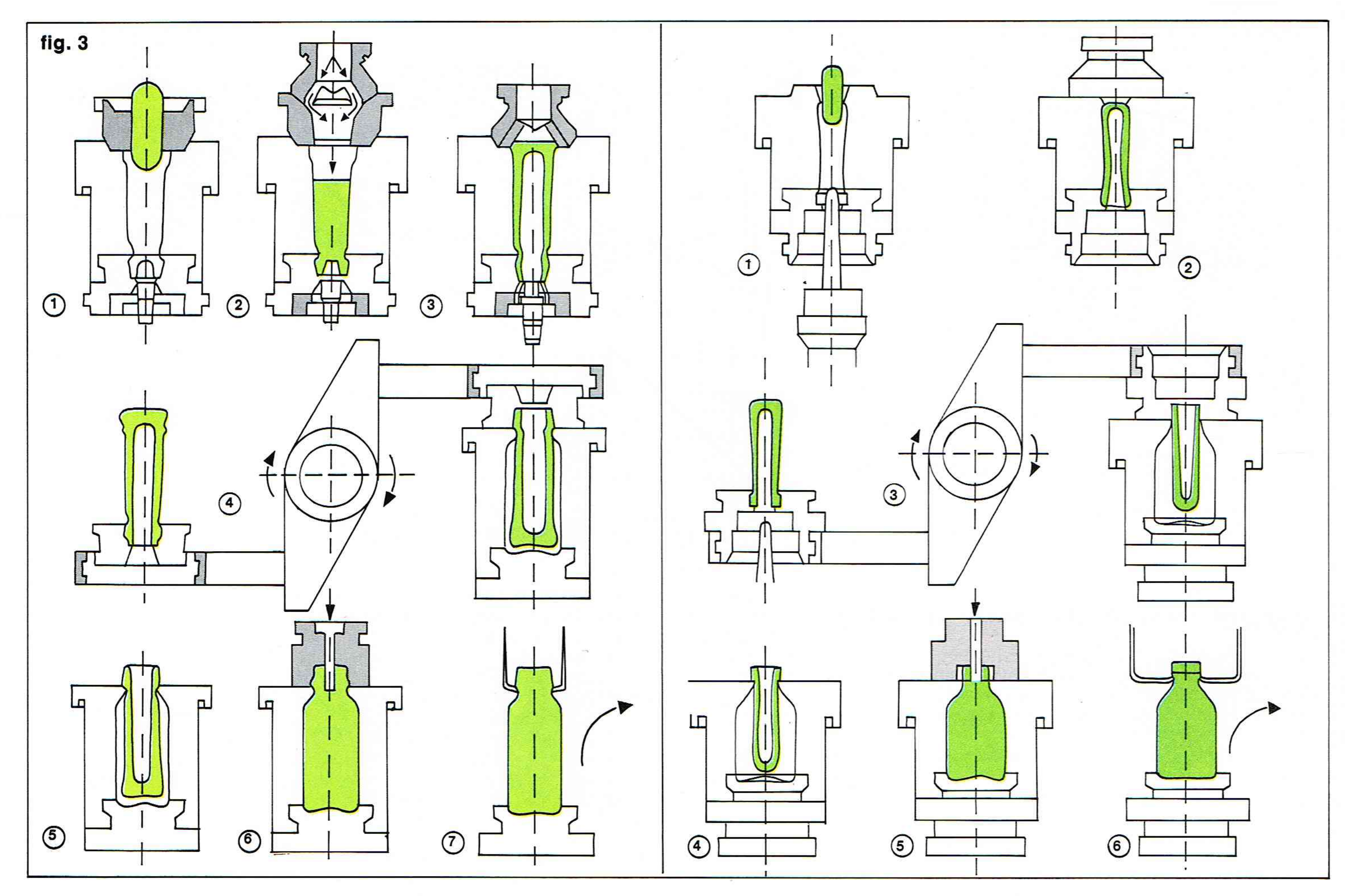


document Apelover

▲ ***Le verre regagne des points dans la conserve alimentaire.***

▼ ***Figure 2 : courbes de transmission de la lumière de différents verres, épaisseur 2 mm (d'après P. A. Caron,*** **Nouvelle Encyclopédie internationale du conditionnement des liquides,** ***C.F.E., Paris).***






▲ *Figure 3; principes de fabrication des bouteilles : à gauche, technique « soufflé - soufflé »;* 1) *alimentation;* 2) *compression par soufflage de la masse pâteuse;* 3) *soufflage de l'ébauche;* 4) *transfert du moule ébaucheur au moule finisseur;* 5) *réchauffage;* 6) *soufflage final;* 7) *extraction. A droite : technique « pressé - soufflé »;* 1) *alimentation;* 2) *pressage de la masse pâteuse par piston en forme de doigt;* 3) *transfert du moule ébaucheur au moule finisseur;* 4) *réchauffage;* 5) *soufflage final;* 6) *extraction.*

blancs ont une transmission non négligeable dans l'ultraviolet, zone de longueurs d'onde où les rayonnements sont, en général, les plus nuisibles.

Pour certains produits sensibles également aux rayonnements du visible, on choisira de préférence un verre de couleur vert foncé (type ultrasorb) ou ambre. Toutefois, nous signalerons que l'absorption par un milieu de radiations lumineuses engendre de la chaleur, ce qui peut dans certains cas poser des problèmes. Nous avons ainsi pu constater une élévation de température de 20 à 29 °C du produit contenu dans une bouteille blanche. Cette élévation de température était de 20 à 40 °C avec une bouteille ambre.

### Principe de la fabrication des bouteilles, flacons et pots en verre

Les matières premières contrôlées et dosées sont intimement mélangées entre elles avant de subir la fusion dans un four alimenté en continu dont la température dépasse 1 500 °C. L'évacuation du verre fondu se fait, par quantités unitaires délivrées aux moules de fabrication, par des canaux appelés feeders.

Cette opération comporte deux phases :

— réalisation du col du récipient par soufflage ou injection de la paraison dans un moule ébaucheur;

— soufflage de l'ébauche précédente dans un second moule.

Suivant la technique utilisée dans le moule ébaucheur, on obtient un récipient réalisé en « soufflé-soufflé » ou en « pressé-soufflé » (*fig.* 3).

L'intérêt de cette dernière technique réside dans la précision plus grande des dimensions intérieures du récipient fabriqué. Le prix de revient n'est toutefois pas le même. Cet aspect de la question est important si l'on pense aux difficultés afférentes au bouchage lorsque l'on utilise des opercules ou des bouchons qui prennent appui sur les parois intérieures du récipient.

La bouteille, sortie de la machine à 500 °C environ, est recuite afin d'éliminer les tensions internes du verre qui apparaissent au cours de son passage dans les moules et de son refroidissement brutal en quelques dizaines de secondes. Un contrôle statistique termine les opérations de fabrication.

Rappelons que les récipients en verre sont des récipients-mesures, ce qui signifie que, dans des conditions standards, ils contiennent une quantité de produit définie à l'avance : 25 cl, 50 cl, 65 cl, 1 litre, etc.

Les verreries livrent les emballages verre aux industriels sous forme de charges palettisées généralement regroupées sous housses rétractables.

La maîtrise des conditions de fabrication des emballages en verre a permis par ailleurs aux verriers de mettre sur le marché des contenants très allégés capables de concurrencer très fortement les autres matériaux, qu'il s'agisse des métaux, des cartons ou des plastiques. Il est évident que cette génération de produits plus légers n'a plus les mêmes caractéristiques de résistance et qu'il ne saurait être question d'envisager leur réemploi en tant qu'emballages industriels.

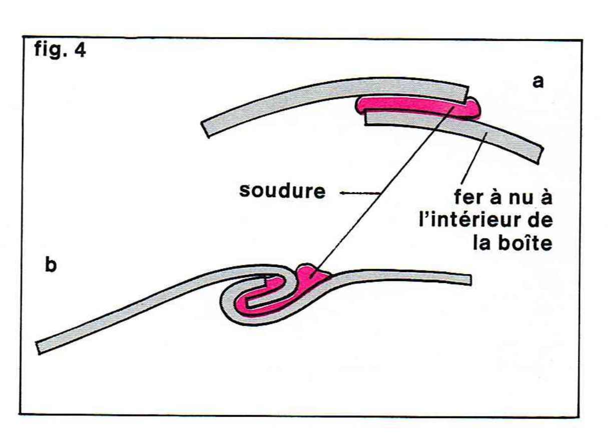
Des traitements de surface du verre peuvent se révéler nécessaires : amélioration du coefficient de glissement, ce qui diminue les risques de rayures dus au contact du récipient avec les chaînes de transporteurs ou des récipients entre eux, augmentation de la dureté superficielle du verre par traitements chimiques ou physiques.

### *Le fer-blanc*

Mince tôle d'acier doux dont les deux faces sont couvertes d'une pellicule d'étain, le fer-blanc est un produit robuste, résistant, facile à travailler ou à assembler, facile à produire en grande quantité et, par suite, un produit bon marché. L'étain intervient comme protecteur contre la corrosion de l'acier doux trop sensible aux nombreux composés organiques d'origine animale ou végétale. Légèrement entamé, l'étain ne donne que des composés inoffensifs pour l'organisme; toutefois, c'est un métal cher. Aussi lui cherche-t-on des remplaçants : chrome, aluminium, émail.



F. Collard




◀ ***Le fer-blanc est un excellent matériau d'emballage. Recyclable, il permet en outre de riches décorations. Toutes les formes sont possibles. Figure 4 : soudure du fer-blanc :***
***a) corps soudé à plat ;***
***b) corps agrafé contre-soudé.***

Le dépôt métallique se fait soit en plongeant les plaques d'acier dans de l'étain liquide, soit par électrolyse. Les récipients métalliques comprennent tous un corps, un fond et une fermeture, le corps et le fond pouvant, dans certains cas, être fabriqués simultanément et sans discontinuité (boîtes fabriquées par emboutissage, filage par choc). Les emballages métalliques se distinguent par leur technique de fabrication, leur forme géométrique et leur fermeture.

Pour ce qui est de la fabrication, on peut procéder par emboutissage, technique d'usage courant pour les boîtes à cigares, les boîtes pour produits pharmaceutiques, pour bonbons, ainsi que les « bombes » pour aérosols ou les cartouches et bidons pour gaz liquides. Le filage par choc permet d'obtenir les tubes pour comprimés ou pour poudres de pharmacie, mais également les corps d'aérosols.

En ce qui concerne les emballages trois-pièces, le corps est obtenu par enroulement en tube d'un flan de fer-blanc, la jonction entre les lèvres se faisant par agrafage (avec ou sans joint suivant l'étanchéité désirée), soudure à plat (à l'étain ou électriquement), agrafage et contre-soudure, collage où l'on remplace la soudure par une matière thermocollante très résistante. Cette dernière méthode permet d'utiliser de l'acier sans étain ou avec un métal de remplacement, à condition toutefois de vernir le récipient correctement (*fig.* 4).

Notons encore que certains emballages sont des composites dont le fer-blanc n'est que l'un des composants. C'est ainsi que certains liquides ou certains produits pâteux sont conditionnés dans des emballages dont le corps est en carton seul ou revêtu d'aluminium ou de plastique, le fond et la fermeture étant en fer-blanc. Il peut en être de même avec un emballage dont le corps est en plastique rigide.

Toutes les formes sont possibles et existent sur le marché : rectangulaires, ovales, rondes, trapézoïdes. Le couvercle peut être coiffant ou rentrant. Il peut faire appel à la technique dite de l'ouverture facile, que celle-ci soit partielle (boîtes de bière) ou totale (conserves de pâté, lubrifiants auto, etc.).

Le fer-blanc peut être verni intérieurement ou extérieurement, opérations qui ont lieu soit sur la feuille avant mise en œuvre, soit sur l'emballage ou la partie d'emballage réalisés.

Le fer-blanc se prête très bien aux traitements thermiques : appertisation, pasteurisation, stérilisation.

***L'aluminium***

Métal issu industriellement de la bauxite, l'aluminium et ses alliages utilisés dans le domaine de l'emballage résistent parfaitement aux atmosphères traditionnelles grâce à la protection que leur assure la fine couche d'alumine qui les recouvre. Insensible aux produits neutres, faiblement acides ou faiblement basiques, ce qui est le cas des produits alimentaires ou de consommation courante, il faut en revanche protéger le métal contre les solutions fortement conductrices qui créeraient une corrosion électrolytique. Cela peut se faire soit par anodisation, ce qui a pour effet d'augmenter l'épaisseur de la couche d'alumine, soit par dépôt d'un vernis du type époxy.

L'aluminium ne donne aucun goût aux aliments, et ses sels ne sont ni toxiques, ni colorés. En outre, comme le fer-blanc, l'aluminium est particulièrement bien adapté aux traitements thermiques de l'industrie alimentaire.

Ce métal est utilisé, dans le domaine qui nous concerne, soit en feuilles minces, soit en tubes, soit en boîtes et boîtiers aérosols, soit en chaudronnerie pour la construction de containers, citernes et fûts.

La feuille mince, grâce à son prix, a peu à peu pris la place des feuilles d'étain. Ses principales utilisations sont les suivantes, en fonction de l'épaisseur :

— 0,009 mm (9 millièmes) : nu, gaufré, double ou contre-collé pour l'emballage du chocolat, de la confiserie, de la biscuiterie, du beurre, de la margarine ou pour la confection de sachets pour potages, desserts, pour la fabrication d'étiquettes, etc. ;

— 0,012 mm (12 millièmes) : pour l'emballage des fromages fondus (après laquage 2 faces) ;

— 0,025 à 0,030 mm (25 à 30 millièmes) : pour les capsules de surbouchage ;

— 0,050 à 0,100 mm (50 millièmes à 10 centièmes) : pour les capsules de bouteilles de lait ou de pots de yaourt ;

— 0,100 à 0,150 mm (10 à 15 centièmes) : pour les capsules déchirables ;

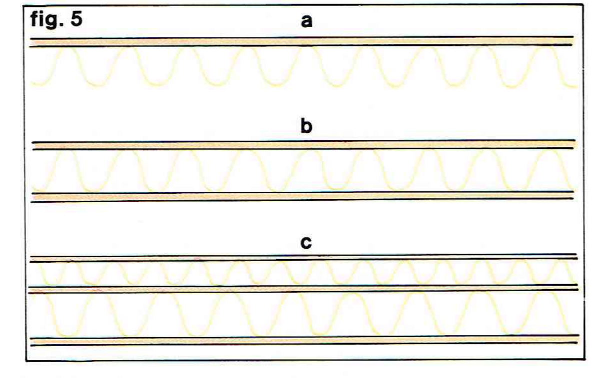
— 0,200 mm (20 centièmes) : pour les capsules destinées aux liquides sous pression ou pour les capsules large ouverture.

En emballage, la feuille mince d'aluminium est souvent liée à d'autres matériaux. Les complexes sont obtenus par collage, calandrage ou extrusion, ce qui permet, pour une faible épaisseur globale, d'obtenir un ensemble plus performant. Les tubes souples sont réalisés par filage et recuisson leur donnant leur souplesse. Quant aux boîtes en aluminium, on utilise les techniques d'emboutissage ou de filage par choc déjà mentionnées au paragraphe précédent pour le fer-blanc. Un recuit suit toujours ces opérations. Le bord de la boîte sera ensuite tombé pour en permettre le sertissage ultérieur. Cette technique, légèrement aménagée, permet la fabrication des boîtiers aérosols monoblocs, mais, au lieu de tomber le bord, on rétreint le haut du tube par passage dans un




Sicopal

▶ ***Quelques possibilités du plastique en matière d'emballages primaires.***




▶ ***Figure 5 ; diverses qualités du carton ondulé : a, simple face (1 couverture + 1 cannelure) ; b, double face (2 couvertures + 1 cannelure) ; c, double double (2 couvertures + 2 cannelures + 1 feuille médiane).***

très grand nombre de matrices de manière à amener l'ouverture au diamètre voulu. Pour les boîtiers deux pièces, on travaille par filage en sens inverse avec une matrice généralement tronconique. Après avoir coupé le tube à la longueur désirée, on tombe le bord afin de permettre le sertissage ultérieur.

Signalons l'existence, dans ce secteur de la boîte-métal, de techniques modernes utilisant le laser pour les soudures et les découpes, techniques promises à un brillant avenir.

### *Les papiers et cartons*

Ils interviennent dans l'emballage à la fois comme supports d'emballage (blister-packs, skin-packs) et comme suremballages. Leur première caractéristique est leur perméabilité importante qui explique d'ailleurs leur imprimabilité. Les cartons sont d'excellents supports de matériaux-barrières et présentent en outre les avantages suivants : prix relativement faible, légèreté, destruction aisée, opacité aux rayonnements, et notamment aux ultraviolets. En outre, ils sont par essence recyclables.

Les diverses qualités de carton existant sur le marché sont obtenues par le collage d'un certain nombre de qualités de papiers. Dans l'industrie de la caisse-carton, il est fait usage soit de carton ondulé, soit de carton compact. Le premier se compose de deux feuilles extérieures ou couvertures accolées à une couche intermédiaire ondulée ; dans le cas du carton compact, la couche intermédiaire est compacte (*fig.* 5).

Ce sont les papiers de couverture qui confèrent à l'ensemble les qualités recherchées, d'où l'importance de la résistance à l'éclatement, de la résistance au déchirage, de l'épaisseur du papier et de l'aspect de la surface devant favoriser d'un côté le collage avec les couches voisines.

En tant qu'emballage primaire, c'est-à-dire emballage contenant le produit, le carton doit posséder des propriétés particulières que l'on obtient par imprégnation (carton plongé dans un bain contenant le liquide d'imprégnation), ou par enduction (application d'une couche de plastique sur le support papier). Ces propriétés dépendent, bien entendu, du produit au contact.

### *Les plastiques*

Matériaux apparus sur le marché ces dernières années, les plastiques ont pris la place des matériaux traditionnels pour le conditionnement de certains produits. Plus légers, ils ne demandent pas de technologie compliquée pour leur mise en œuvre. Ils résistent souvent mieux aux agents chimiques et atmosphériques. C'est à ces caractéristiques que l'on doit le développement de la bouteille plastique pour les eaux minérales, du casier plastique remplaçant le casier de bois, des housses plastiques pour la confection des unités de transport.

Les plastiques les plus utilisés sont les polyéthylènes basse et haute densité (pour les bouteilles de lait, les casiers plastiques, les bouchons thermoformés), le chlorure de polyvinyle PVC tant décrié ces dernières années (pour les bouteilles destinées aux eaux minérales, au vin, etc.), le polystyrène (bacs plastiques, pots de yaourt, etc.), le polypropylène (petit flaconnage, bouchages, pots divers).

Des matériaux nouveaux sont apparus récemment sur le marché dans le domaine des boissons gazeuses pour lesquelles aucune solution totalement satisfaisante n'a été trouvée à ce jour. Aucun plastique n'étant absolument étanche aux gaz, la notion de solution optimale d'emballage prend toute sa valeur, car il faut, plus que pour n'importe quel autre matériau, prendre en considération le délai normal de consommation du produit, au bout duquel on peut estimer que celui-ci aura été absorbé. On comprend aisément qu'une bouteille en polyéthylène basse densité, type bouteille de lait, ne puisse convenir pour un produit dont le délai de consommation peut atteindre plusieurs mois. L'emballage optimal permettra




document Dayné et Gaston

◀ *Des poignées en plastique permettent le regroupement des emballages sous forme d'unités de vente aisément transportables par la ménagère (brevet Agrip'Cols, Dayné et Gaston).*

donc, outre le transport et la manutention du produit, sa conservation pendant le temps juste nécessaire à sa commercialisation et à sa consommation. Il est à remarquer qu'avec les matériaux plastiques, on ne garantit plus la conservation absolue du produit mais sa conservation relative : les modifications pouvant intervenir au cours d'un laps de temps déterminé demeureront quantitativement en deçà d'une certaine limite fixée à l'avance : perte de poids, perte de gaz, pénétration d'oxygène, etc. La valeur marchande du produit a aussi son importance dans le choix du matériau. Un produit cher laissera plus de latitude dans ce choix qu'un produit bon marché.

### Mise en œuvre des plastiques

Ces matériaux, comme leur nom l'indique, sont plastiques, c'est-à-dire malléables, modelables dans certaines conditions, de température notamment. C'est ainsi que la technologie de fabrication des emballages en matière plastique commencera toujours par une phase de chauffage du matériau visant à le ramollir.

L'opération essentielle de la technologie des plastiques est l'*extrusion*, qui consiste à réchauffer progressivement la matière de départ, qui est alors sous forme de granulés, dans un canal comportant une vis sans fin dont le pas se réduit progressivement. Le matériau ainsi malaxé devient pâteux et sort de l'extrudeuse par une filière dont la forme dépend de l'utilisation ultérieure : plate, elle donne naissance suivant l'épaisseur retenue à des plaques ou à des films ; annulaire, elle libère une gaine qui pourra être pincée et gonflée dans le dessein de gonfler le film de façon bidimensionnelle ou sera reprise sous la forme de paraison dans une machine réalisant la fabrication de corps creux par soufflage.

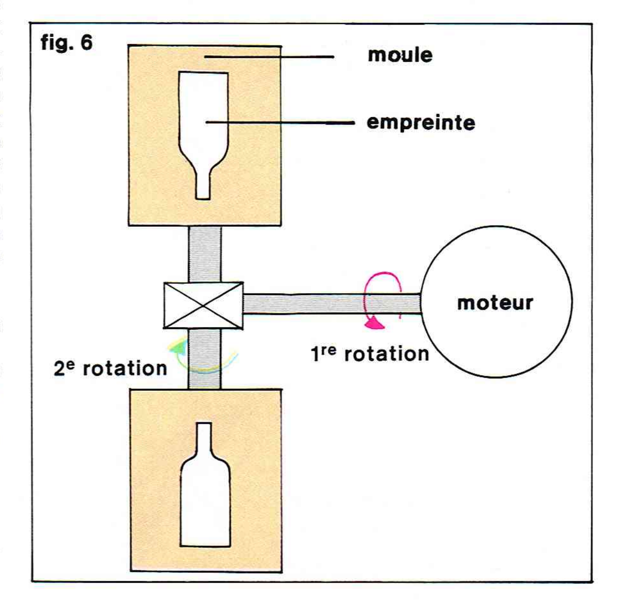
Si l'on étire le film avant refroidissement, on aura un film rétractable qui reviendra à ses dimensions normales si on le chauffe légèrement. La rétraction peut être de 20 à 50 %. Que la tête de boudineuse délivre la « paraison » dans un moule, et l'on obtient un matériel d'*extrusion-soufflage* couramment utilisé dans l'industrie.

Certains objets sont fabriqués par *injection*, l'extrudeuse étant alors remplacée par un corps chauffant. Un piston d'injection délivre à chaque course une quantité définie de matière pâteuse dans le moule. Après refroidissement, la pièce injectée est libérée. Alors que l'extrusion est une opération continue, l'injection est par essence discontinue.

Il est possible d'allier la technique de soufflage à la technique d'injection, ce qui permet d'obtenir des corps creux dont les tolérances de fabrication, notamment au niveau de la bague, sont beaucoup plus précises que par extrusion-soufflage.

De nombreux emballages sont obtenus également à partir de feuilles prédécoupées ou de rouleaux de plastique par la technique du *thermoformage*. Après chauffage du matériau, celui-ci est formé par un « poinçon » contre une matrice qui lui donne sa forme extérieure. Une technique voisine consiste, après chauffage, à aspirer la feuille pour l'amener au contact de la matrice. Avec cette technique, on peut travailler en continu.

Pour terminer ce chapitre sur les plastiques, mentionnons encore une technique surtout utilisée pour les emballages de grand volume : le *rotomoulage* (*fig.* 6). Il consiste à faire couler la résine plastique, préalablement fluidifiée, à l'intérieur d'un moule creux tournant autour de deux axes.




◀ *Figure 6 : rotomoulage. Il consiste à faire couler la résine plastique, fluidifiée, à l'intérieur d'un moule creux tournant autour de deux axes.*

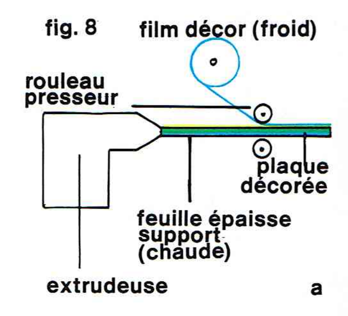
▶ *Tableau II : caractéristiques des composants entrant dans les matériaux modernes.*

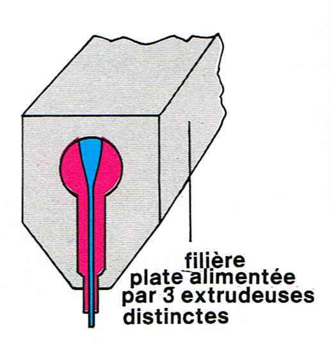
**Tableau II**
**Caractéristiques des composants entrant dans les matériaux modernes**

| Caractéristiques | Principaux plastiques utilisés dans les complexes | | | | | | | Principaux substrats utilisés dans les complexes | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PVC | PE | PP | PVD | PTE | PA | Pellic. cellul. | Papier | Carton | Alumin. | Tissu |
| Résistance mécanique | | + | ++ | + | ++ | ++ | | + | ++ | ++ | ++ |
| Imperméabilité aux gaz | ++ | | | ++ | + | + | | | | ++ | |
| Perméabilité aux gaz | | + | + | | | | | ++ | + | | ++ |
| Imperméabilité vapeur d'eau | | ++ | ++ | ++ | | | + | | | ++ | |
| Perméabilité vapeur d'eau | + | | | | + | + | ++ | ++ | + | | |
| Transparence | ++ | + | ++ | + | ++ | + | ++ | | | | |
| Opacité | | | | | | | | ++ | ++ | ++ | + |
| Tenue à froid | | + | | | + | + | | + | + | ++ | + |
| Tenue à chaud | | | + | | + | + | | + | + | ++ | + |
| Thermosoudure | + | ++ | ++ | ++ | | ++ | | | | | |
| Collage | + | | | + | | | ++ | ++ | ++ | | |
| Imprimabilité | ++ | ++ | ++ | ++ | | | ++ | ++ | ++ | ++ | + |

PVC : polychlorure de vinyle - PE : polyéthylène - PP : polypropylène - PVD : Polyvinylidène - PTE : Polytéréphtalate d'éthylène - PA : polyamide.

▼ *Figure 8 : principes du dépôt d'un plastique sur un support plastique :* a) *placage ;* b) *coextrusion (exemple avec 3 couches).*




*Les matériaux complexes*

Ils ont pris un développement très important ces dernières années du fait des extraordinaires possibilités qu'ils offrent en matière d'emballage. Composites d'un genre particulier, ils cumulent les avantages des matériaux qui les composent sans toutefois prendre en compte leurs défauts. Les principales caractéristiques recherchées sont les suivantes : résistance mécanique, inertie chimique, imperméabilité ou perméabilité, soudure, impression, faible prix de revient. Les complexes sont réalisés soit à partir de plastiques différents associés entre eux, soit à partir de plastiques et d'un substrat : papier, carton, aluminium, tissu, etc.

De nombreux emballages couramment manipulés par les ménagères sont réalisés en matériaux complexes ou utilisent pour leur fermeture un tel matériau. Citons par exemple la boîte-carton de lait pasteurisé réalisée en complexe trois couches *polyéthylène-carton-polyéthylène,* la boîte-carton de lait longue conservation UHT réalisée en complexe cinq couches *polyéthylène-aluminium-polyéthylène-carton-polyéthylène,* le pot de yaourt ou de dessert gélifié dont la fermeture est réalisée en complexe aluminium-polyéthylène. Tous les emballages souples destinés aux plats cuisinés entrent dans cette catégorie, ainsi que les petits sachets distribués dans les avions pour se rafraîchir le visage.

Il importe de bien comprendre qu'entre les composants du complexe il y a liaison effective et pas seulement juxtaposition ou simple contact (dans ce cas, l'emballage est un composite, mais pas un complexe ; c'est le cas d'emballages du type bouteille plastishield ou bouteille pelable).

Le *tableau* II, donnant les caractéristiques des éléments les plus courants composant les complexes, permet de mieux comprendre le choix de telle ou telle combinaison en fonction du produit à emballer et de la protection à mettre en œuvre : protection physique, chimique, contre les rayonnements lumineux, etc.

**Réalisation des complexes**

Le dépôt d'un film plastique sur un support : film plastique de nature différente, papier, carton, feuille mince d'aluminium, tissu, peut se réaliser par plusieurs techniques. On en distingue deux groupes suivant que le support est ou n'est pas un plastique.

Si le support n'est pas un plastique, on pratiquera par contre-collage du film plastique sur le support préalablement étendu d'une couche d'adhésif (polyéthylène sur carton, par exemple), par enduction sur le support (PVC sur du tissu, par exemple), ou par extrusion-lamination (cas du polyéthylène sur papier ou sur aluminium) [*fig.* 7].

Si le support est lui-même un plastique, on procédera par placage d'un film mince pressé à froid sur une feuille extrudée de forte épaisseur encore chaude (cas du dépôt d'un film ABS sur une feuille de PVC ou de polyéthylène), par coextrusion pour deux films plastiques de nature différente s'autocollant à chaud (polyéthylène sur polyamide, par exemple) [*fig.* 8].

▼ *Figure 7 : principe de dépôt d'un plastique sur un support non plastique ;* a, *enduction ;* b, *contrecollage ;* c, *extrusion-lamination.*

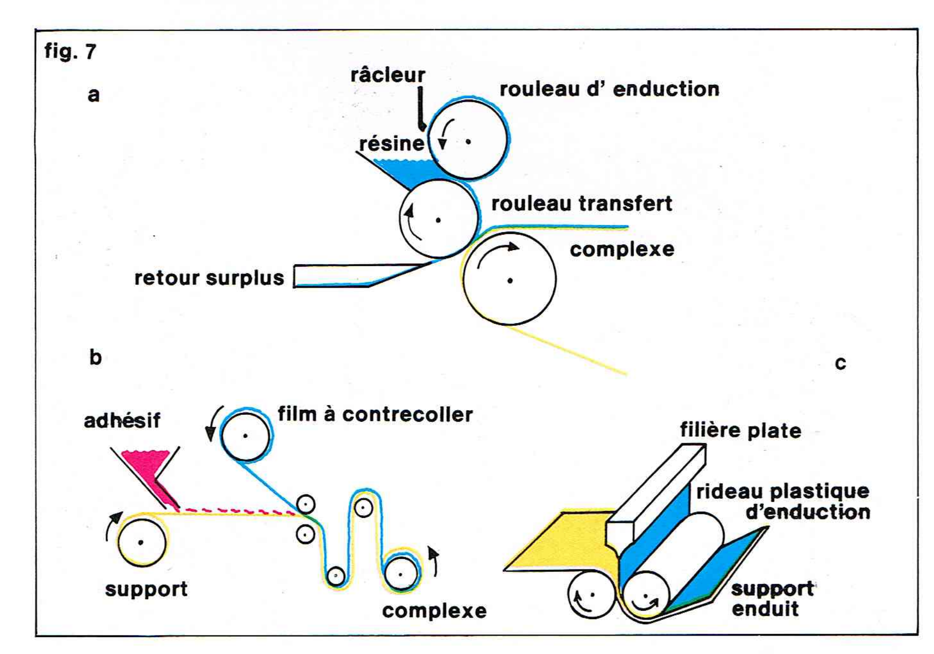


fig. 9

PRERINÇAGE EAU
INJECTIONS DETERGENT
RINÇAGE FINAL
TEMPERATURES EN DEGRÉS CENTIGRADES
35° 60° 75-85° 70-75° 60-65° 50° 35° 25° Eau froide
ZONE D'ÉGOUTTAGE
CIRCUIT UTILE DES PANIERS
ENTREE AUTOMATIQUE DES BOUTEILLES
SORTIE AUTOMATIQUE DES BOUTEILLES
1 2 3
Vers preinçage
RETOUR DES PANIERS VIDES
65-70° 75-85° 70-75°
BAIN DE TREMPAGE DETERGENT

document Baele - Gangloff

▲ *Figure 9 : schéma de principe du circuit de lavage d'une laveuse à trois bains.*

## La mise sous emballage des produits au niveau de l'atelier de conditionnement

Cette opération se fait suivant deux processus différents selon que l'emballage préexiste ou qu'il est réalisé simultanément au conditionnement du produit. Nous allons donc étudier ces deux cas en nous limitant à l'emballage primaire.

### Le produit est délivré dans un préemballage

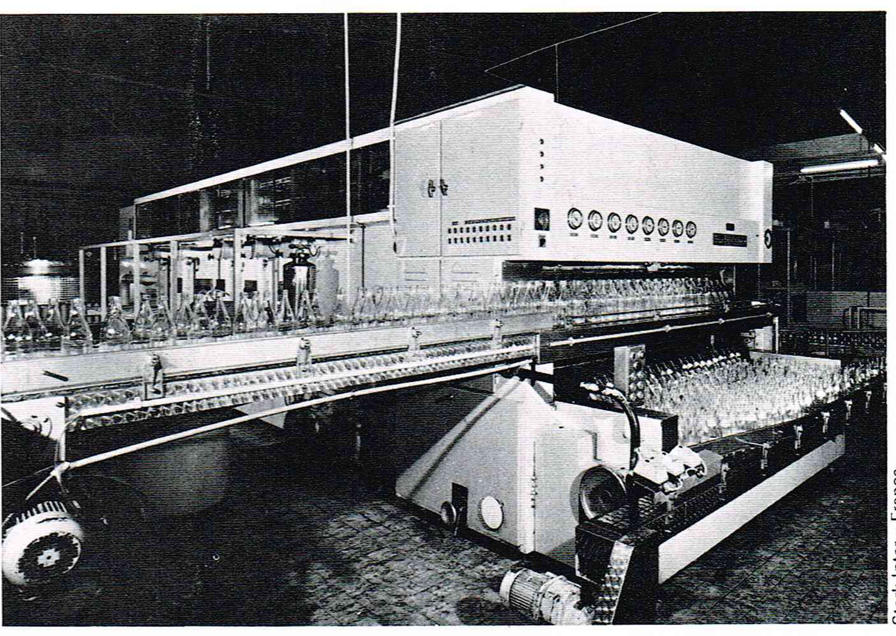
La mise sous emballage du produit comprend trois phases essentielles : la préparation de l'emballage, son remplissage et sa fermeture.

#### *Préparation de l'emballage*

Pour des raisons de commodité et de prix de revient, les emballages sont livrés aux industries sous forme de charges palettisées qui en comprennent un nombre important. La tendance est au groupement des contenants par lits superposés sous housse rétractable. Il va donc falloir passer de cette charge unitaire de transport à l'emballage primaire que traiteront les machines de la ligne de conditionnement. On fera appel au matériel dénommé dépalettiseur par couches. La tête de dépalettisation se compose d'un ensemble de ventouses pour la prise des boîtes-métal, d'une série de barres ayant un profil spécial ou de boudins gonflables qui s'insèrent entre les bouteilles et les saisissent par le goulot, ou bien encore d'un jeu de grappins pneumatiques en nombre égal au nombre de bouteilles de la couche. Chaque récipient est alors pris séparément.

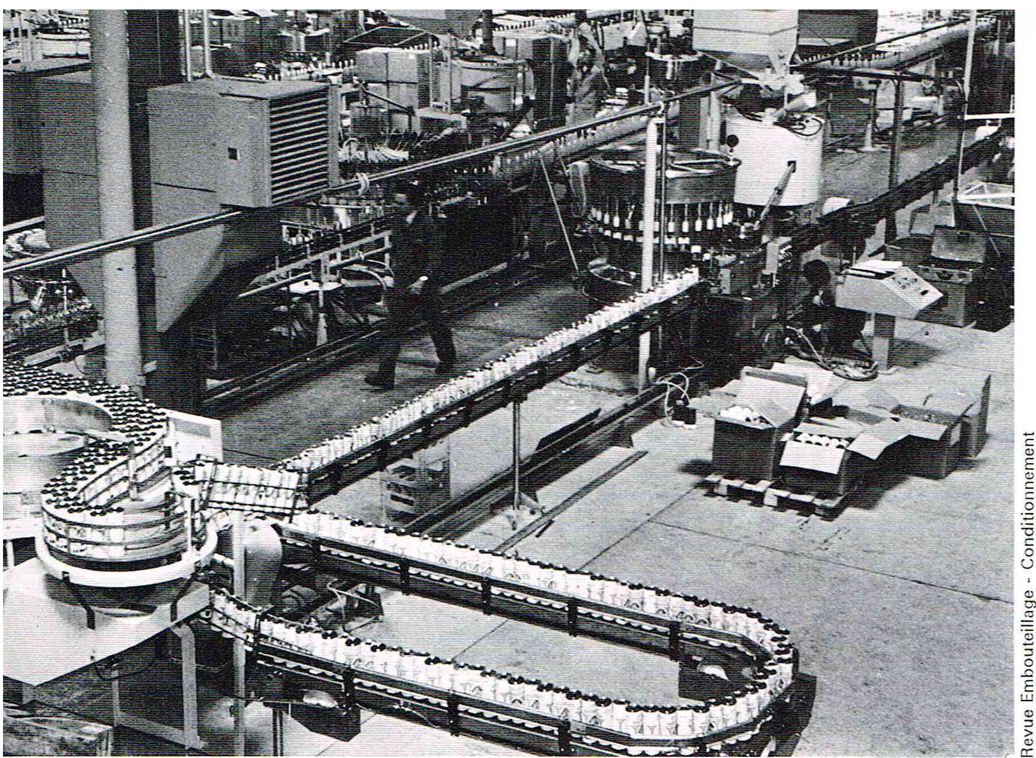
Si l'on a affaire à des emballages consignés, ce qui est habituel dans le secteur des boissons, les retours se font en casiers de bois ou de plastique palettisés. Après dépalettisation, c'est-à-dire passage de l'unité palette à l'unité casier, il faut encore franchir une étape : celle du décaissage à la suite duquel l'unité de traitement sera la bouteille. Ces matériels sont semi-automatiques ou automatiques suivant les cadences. Certaines entreprises toutefois ne possèdent pas encore ces types de machines, et le travail se fait à la main. Il faut dire que de tels investissements doivent se justifier.

Avant remplissage, l'emballage doit être traité afin de ne contenir aucune impureté susceptible d'altérer le produit qu'il contiendra, aucun corps indésirable. On pourra ainsi pratiquer le soufflage ou le rinçage du récipient. Dans certains cas, cette dernière opération se fera avec le contenu futur (cas de l'avinage pour les vins). Pour les récipients consignés, on procédera au lavage de ceux-ci dans une machine dénommée laveuse dont nous donnons le schéma de principe à la *figure* 9. Les bouteilles enfermées dans les « paniers » circulent à travers la laveuse, traversent des bains de natures différentes, à températures différentes, subissent des



▼ *Laveuse « single-end » montrant la table d'accumulation (à l'entrée) des bouteilles.*

Stork Inter - France



Revue Embouteillage - Conditionnement

▲ *Vue générale d'un atelier de conditionnement de sirops, en boîtes au premier plan, en bouteilles vers l'arrière.*

injections intérieures et des douches ou aspersions extérieures de divers types avant d'être rincées à l'eau claire et de revenir à température ambiante.

Les paramètres essentiels du lavage sont la concentration des bains de détergent (à base de produits sodés), la température des agents de traitement et la durée de chaque stade du traitement. Le diagramme des températures est particulièrement important, car il conditionne à la fois l'efficacité de l'opération et le rendement de celle-ci. Cette remarque est à rapprocher du fait qu'une bouteille résiste difficilement au choc thermique que lui impose le passage d'une température à une autre qui diffère de la première de plus de 35 °C. Quant à la concentration en détergent, on la suit à tout instant de manière à recharger le bain dès que cela se révèle nécessaire. A noter que la qualité du lavage est étroitement dépendante de la dernière eau de rinçage utilisée.

Insistons à ce niveau sur la différence qui existe entre nettoyage et stérilisation. Un récipient, fût-il bien lavé, n'est jamais stérile, car la dernière eau de rinçage contient des micro-organismes, mais, dès l'instant que ceux-ci ne sont ni pathogènes pour l'homme ni gênants pour le devenir du contenu, leur présence n'a aucune importance ; du moins est-ce exact tant que la population microbienne banale n'atteint pas une limite supérieure gênante pour les opérations ultérieures de pasteurisation, stérilisation ou appertisation. Nous reviendrons sur ce point.

On peut être amené, dans certains domaines spécifiques, à rechercher, en plus de la propreté, une certaine asepsie. On utilisera alors des produits désinfectants, bactériostatiques, voire même antiseptiques, qui pourront être ajoutés à la dernière eau de rinçage ou pulvérisés dans le récipient avant la phase de remplissage (produits pharmaceutiques, sérums et solutés injectables notamment).

Avant remplissage, les boîtes de conserve préalablement retournées sont flambées afin de détruire les germes en suspension dans l'air ou au contact du matériau.

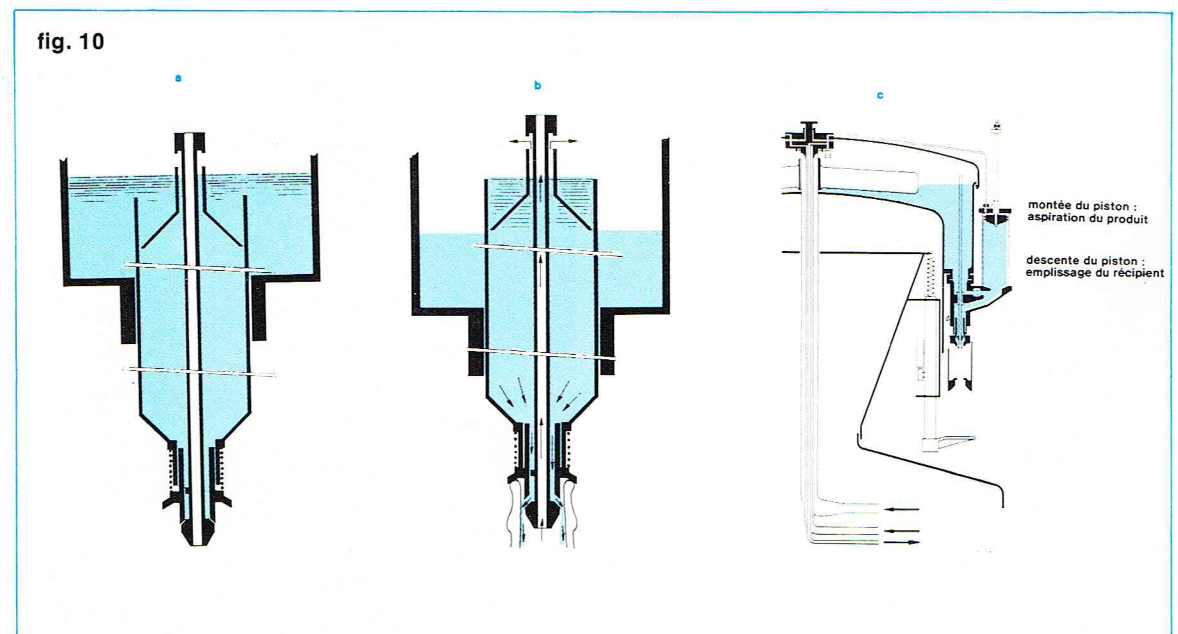
### *Le remplissage du contenant*

Tous les produits classiques mis dans des emballages, à l'exception du conditionnement aérosol, sont plus lourds que l'air, ce qui permet à chaque fois d'utiliser comme force active la gravité. Celle-ci étant généralement insuffisante pour assurer des débits industriels, on accélère l'opération de transfert soit en créant une dépression dans le contenant, soit en usant d'une surpression dans le réservoir tampon de la machine.

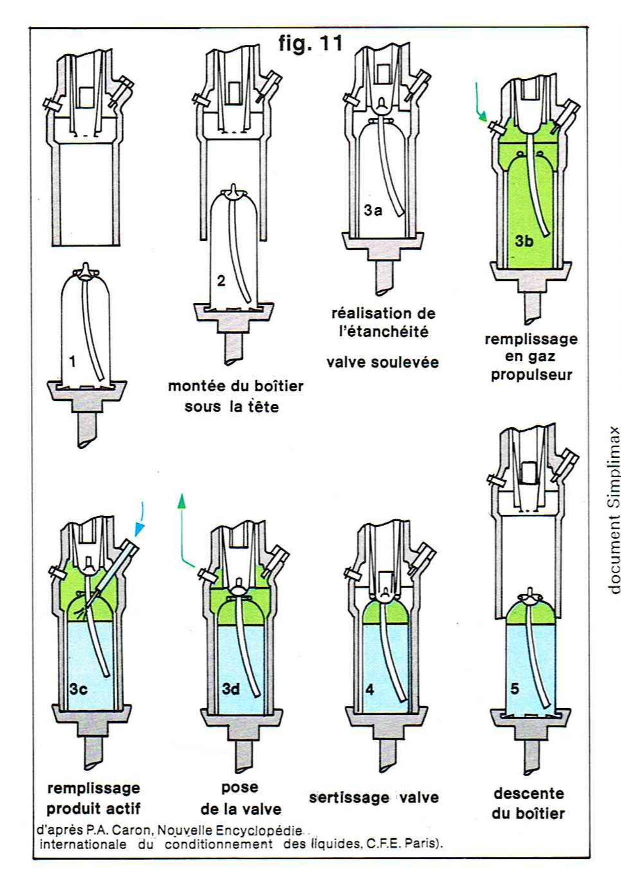
● Afin de délivrer dans chaque emballage la quantité requise de produit, on mesurera directement ou indirectement la masse délivrée : **par pesée** ou **volumétriquement.** Le principe volumétrique suppose malheureusement de nombreux temps morts, car il existe à chaque cycle de remplissage une phase de prédosage volumétrique. Aussi a-t-on tourné la difficulté en utilisant des récipients tous identiques en volume et en poids. Il suffit alors de les remplir jusqu'à un certain niveau repéré par rapport au fond ou au col du récipient. Les matériels existant sur le marché sont très nombreux, mais ils fonctionnent tous selon l'un des principes précités (*fig.* 10).

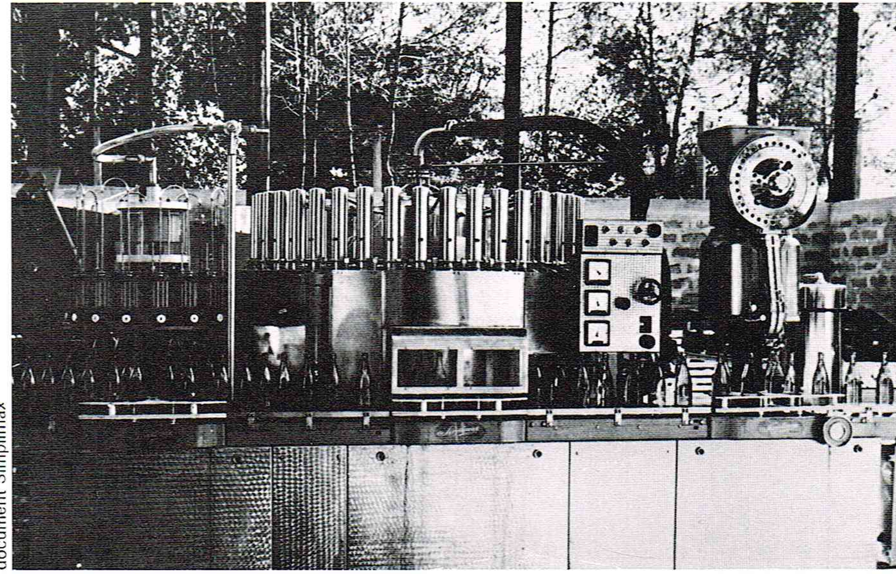
Pour les produits secs, on travaille généralement par pondération, la mesure de la masse déversée entraînant au moment adéquat l'arrêt de l'approvisionnement de la tête de remplissage ou obturant celle-ci lorsqu'elle est remplie en permanence. S'il y a plusieurs ingrédients, on passe successivement par autant de têtes de distribution qu'il y a d'ingrédients. Les produits pâteux sont soit traités comme des liquides (on les conditionne à chaud), soit délivrés par méthode volumétrique. Pour les confitures, on utilise la première technique, pour les produits cosmétiques, plutôt la seconde.

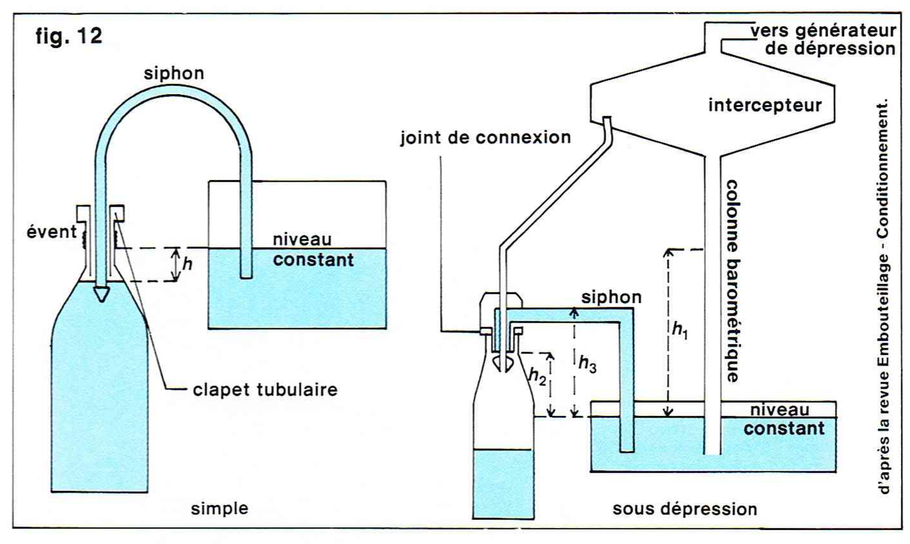
● Il est également possible de délivrer une dose volumétrique approximative mais insuffisante, qui sera complétée ensuite pour parvenir au poids ou au volume requis avant sortie de la machine. Dans le **cas des aérosols,** le produit noble est d'abord dosé volumétriquement et introduit dans le boîtier. On injecte ensuite le gaz propulseur sous forte pression, lequel se liquéfie dans l'emballage. Suivant que le gaz propulseur est soluble ou non dans l'agent actif liquide, on a un aérosol à deux ou à trois phases. Les techniques modernes permettent d'automatiser cette opération, les remplissages de gaz propulseur et de produit actif se faisant sous vide. Le récipient muni de sa valve simplement posée est




▶ *Figure 10 : techniques de remplissage volumétrique ; a, phase de prédosage (doseur à godets) ; b, phase de remplissage (doseur à godets) ; c, dosage à piston mobile (d'après la revue* Embouteillage-Conditionnement*).*





document Simplimax




préalablement purgé d'air. La valve est sertie au terme du processus, ainsi qu'on le voit sur la *figure* 11.

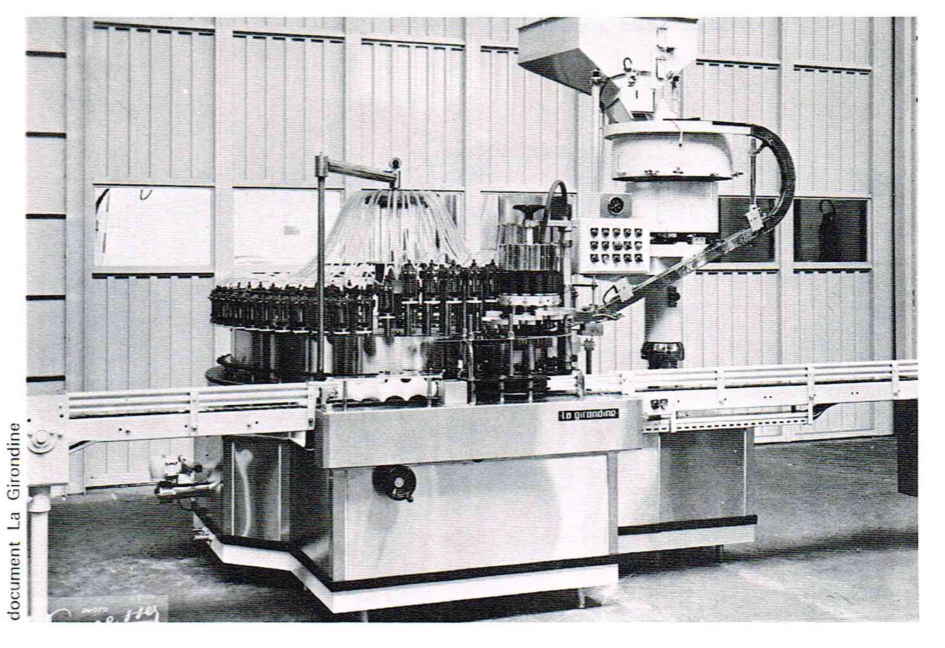
● Le problème le plus complexe, en matière de remplissage, est posé par le cas des liquides, et tout particulièrement des boissons gazeuses. On fait appel à un matériel approprié dénommé **tireuse** qui se compose d'un réservoir de liquide, alimenté en continu avec régulation de niveau, et d'un certain nombre d'organes intermédiaires entre le réservoir et la bouteille : les becs ou soupapes. Suivant que le liquide est « plat » ou gazeux, la construction du bec n'est pas la même.

Le bec le plus simple est celui qui équipe les emplisseuses par *siphonnage* (*fig.* 12). Ces matériels fonctionnent selon le principe des vases communicants. Les siphons débouchent dans une cuve à niveau constant, sous une pression fixe et à une température donnée. Selon les constructeurs, la bouteille peut monter vers le bec, ce qui assure un vide constant dans le col, ou c'est le bec qui descend vers la bouteille. Ce qui est alors constant, c'est la hauteur de liquide par rapport au fond de la bouteille. En cas de bouteilles de tailles différentes, la plus petite sera donc plus remplie. Mais ces becs présentent de graves inconvénients, car une bouteille en mauvais état (ébréchée, fuyarde) sera remplie. En outre, ces becs « gouttent » ou se désamorcent. Et le réservoir de liquide, important, ne se vide pas commodément.

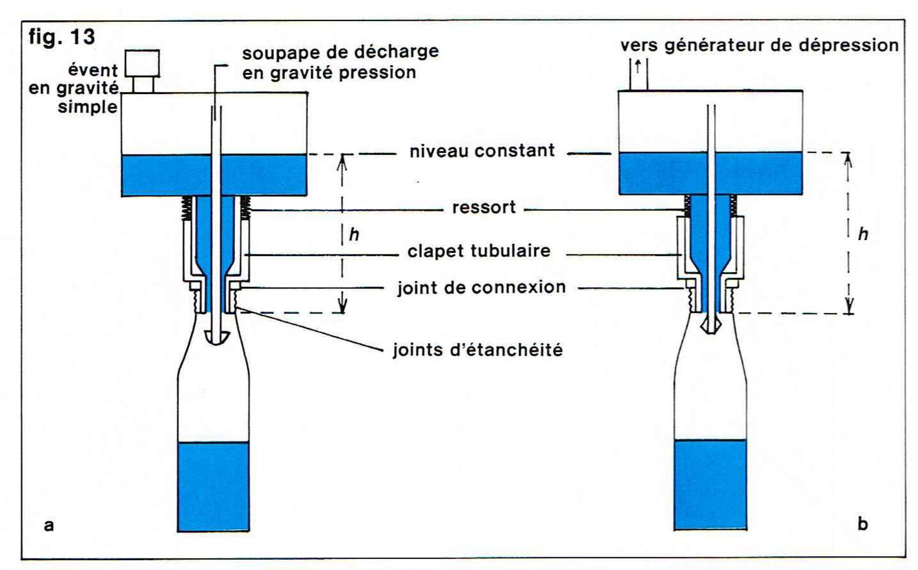
Une amélioration à cette technique a été apportée avec le *soutirage sous vide*. En effet, le siphon ne s'amorce que sous l'effet de la dépression régnant dans la bouteille, ce qui évite le remplissage des bouteilles ébréchées ou des fuyardes. Au désembectage de la bouteille, le siphon se désamorce, et les becs ne gouttent plus. Le réglage de la hauteur de liquide est facile, et le remplissage précis. Cette technique est dans certains cas la seule utilisable : pour les jus pulpeux, les sirops, les liquides peu fluides. On utilisera alors un vide poussé; pour des liquides fluides au contraire, un léger vide suffira.

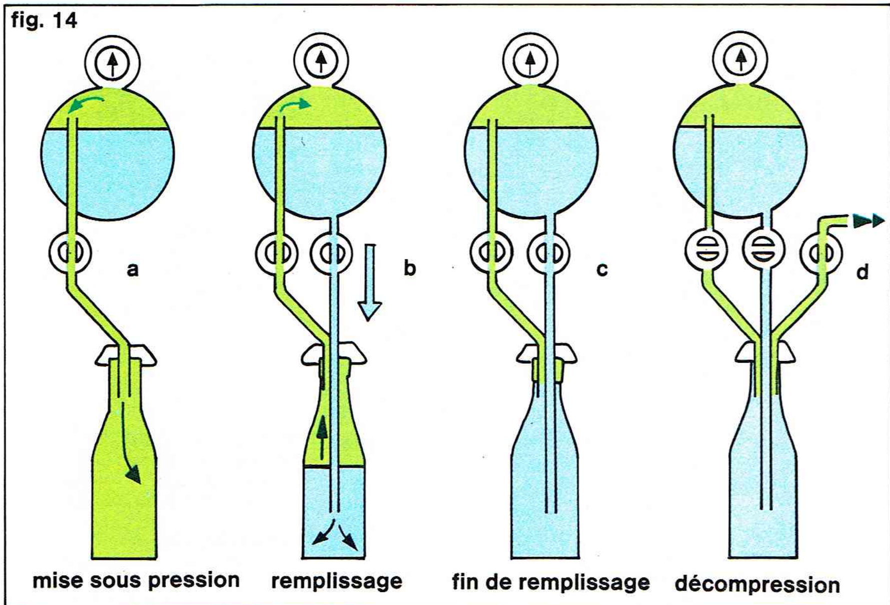
● Une autre technique utilise tout simplement la **gravité.** C'est celle qui se rapproche le plus de l'opération que pratique la ménagère lorsqu'elle transvase un produit liquide quelconque d'un contenant de grand volume (fût, jerrican, bidon, etc.), assimilable au réservoir de notre soutireuse, dans une bouteille. L'entonnoir de la ménagère a son correspondant sur la soutireuse : le bec ou soupape de remplissage. Ce bec est directement en

▲ *Figure 11 : principe de remplissage automatique des aérosols.*
*En haut, à droite, remplisseuse pour liquide gazéifié, avec prédosage volumétrique (cas des limonades).*
*Figure 12 : principe du siphonnage.*
▼ *Tireuse, destinée aux liquides « plats », fonctionnant sur le principe du vide ou du semi-vide.*



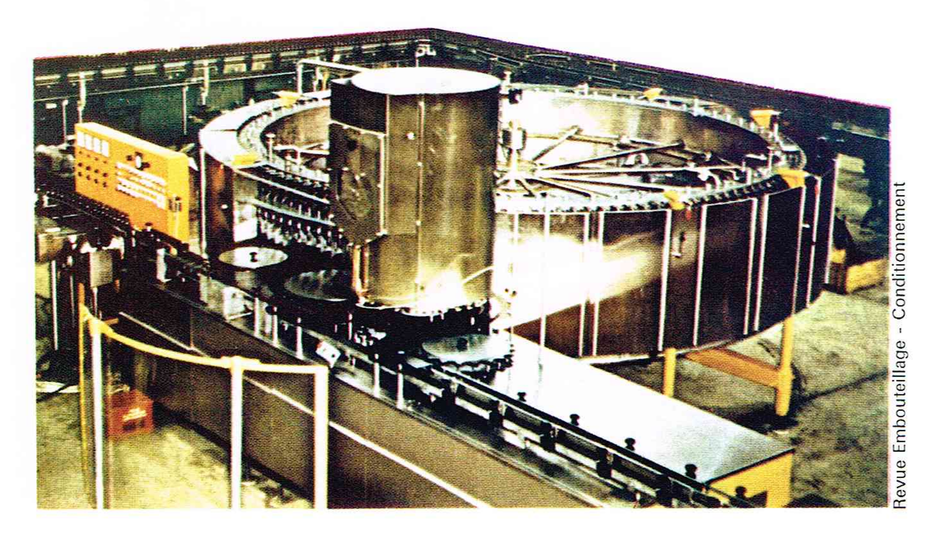
document La Girondine




▲ *Figure 13 : technique de remplissage par gravité a, simple ou pression ; b, vide.*
*Figure 14 : technique isobarométrique (figures 13 et 14, d'après la revue* Embouteillage-Conditionnement*).*

▼ ***Soutireuse-boucheuse à grand rendement pour produits carbonatés.***


Revue Embouteillage - Conditionnement

charge sous le réservoir de la soutireuse dont il est solidaire. Dans le principe de l'emplissage par gravité simple, l'atmosphère au-dessus de la cuve est en communication avec l'air atmosphérique. Le bec comporte un tube de retour d'air et un clapet tubulaire obturant, au repos, l'orifice d'écoulement. La bouteille, à l'embectage, soulève elle-même le clapet, et le remplissage peut s'effectuer. Le niveau est établi par rapport au sommet de la bouteille.

Deux variantes sont possibles qui améliorent cette technique, notamment pour ce qui concerne les récipients ébréchés et les fuyards : la *gravité-pression* et la *gravité-vide* (*fig.* 13). Dans le premier cas, on met la cuve sous faible pression (maximum 100 millibars), par injection d'un gaz déterminé qui peut être de l'air, de l'azote, du gaz carbonique. La bouteille est mise à la pression de la cloche par l'intermédiaire du tube de retour d'air, et l'emplissage se fait comme précédemment, la pression n'ayant aucune influence sur la vitesse d'écoulement du liquide. Ce principe, s'il permet de travailler dans de meilleures conditions pour certains liquides particulièrement sensibles à l'oxydation (on effectue alors un remplissage sous gaz inerte), ne résout pas le problème des fuyards. Avec la gravité-dépression, on applique dans la cloche un vide de valeur absolue supérieure à la pression hydrostatique à l'extrémité du bec. Pas de bouteilles, ou bouteille ébréchée : la dépression n'est pas transmise à la bouteille, et le remplissage ne s'effectue pas. Contrairement à la gravité simple ou à la gravité-pression, le bec n'a pas besoin de joint d'étanchéité, puisque le vide maintient le liquide dans la cloche. Inconvénient en retour : lors de l'arrêt du matériel, il faut laisser la pompe à vide tourner si l'on ne veut pas que la cuve se vide.

La technique de la gravité présente l'avantage de pouvoir vider la cuve sans difficulté à la demande et n'impose pas un volume de réservoir important. Celui-ci peut être classique ou annulaire.

● Pour terminer ce chapitre, revenons sur la question du soutirage des liquides carbonatés, qui doivent être en permanence traités sous pression pour éviter leur dégazage et la formation de mousse trop abondante. On effectuera leur soutirage par la technique dite « **isobarométrique** » avec contre-pression de manière à assurer un écoulement calme du liquide (*fig.* 14). En outre, le dégazage étant d'autant plus faible que la température est plus basse, on travaillera à quelques degrés au-dessus de 0 °C.

Dans un premier temps, le récipient est mis sous pression par communication avec la cloche du réservoir. Le gaz s'écoule jusqu'à équilibre de pression. Le remplissage débute alors. A mesure que le niveau de liquide monte, le gaz contenu dans la bouteille retourne dans le réservoir par le canal de mise en pression. Lorsque le liquide atteint l'orifice de ce canal, le remplissage s'arrête. Il reste, avant désembectage, à ramener le vide dans le col de la bouteille à la pression extérieure, ce qui se fait progressivement par freinage du gaz libéré (sniftage). Préalablement au sniftage, les robinets de gaz et de liquide ont été fermés. Le soutirage proprement dit est alors terminé.

Montées sous le réservoir, les soupapes permettent de vider complètement celui-ci en fin de journée ou, en cas de changement de produit, en cours de journée. Des dispositifs de sécurité interviennent au cours de la mise en pression ou au moment du remplissage pour éviter ou interrompre le flot de liquide en cas de bouteille fêlée, ébréchée ou lors d'un bris de récipient.

La propreté et l'hygiène des matériels utilisés dans les industries alimentaires sont primordiales, car elles conditionnent la qualité du produit et ses chances de conservation. Pour cette raison, ces matériels seront soigneusement lavés après utilisation, rincés et stérilisés avant remise en marche. On pourra utiliser soit la chaleur, soit une solution désinfectante.

### *La fermeture du contenant*

Avec sa fermeture, l'emballage est achevé, et on peut envisager son transport, son regroupement avec d'autres emballages semblables, sa distribution. Il devient ainsi une unité indépendante se suffisant à elle-même. Mais comment cette dernière étape se réalise-t-elle ?

On peut dire qu'il existe autant de types de fermetures que de types de contenants. Ces fermetures varient par

leurs principes, leurs dimensions, le matériau mis en œuvre, l'utilisation ou non d'accessoires de fermeture.

Sur le principe, la fermeture du contenant peut soit s'adapter directement sur le récipient (couvercle préformé sur baril de lessive ou capsule plastique enfoncée simplement sur la bague d'une bouteille), soit nécessiter une mise en forme ou l'intervention d'une opération supplémentaire (sertissage d'un couvercle sur une boîte de métal ou d'une capsule métallique à vis sur la bague d'une bouteille en verre; thermocollage d'une feuille complexe à base d'aluminium sur un pot plastique).

Dans tous les cas, l'ensemble de fermeture comprend un distributeur et une tête de fermeture. Le distributeur peut être solidaire ou non de la tête de fermeture. Dans le premier cas, l'emballage prend au passage la pièce au niveau du distributeur et se présente ensuite sous la tête munie d'un simple plongeur (piston animé d'un mouvement descendant) s'il suffit d'enfoncer un couvercle, un opercule ou une capsule en matière plastique. Pour un pot à large ouverture et bague à vis, le plongeur sera animé d'un mouvement rotatif assurant le serrage de la capsule sur les filets de l'emballage. Si le récipient est une boîte-métal, la tête permettra le sertissage du couvercle en trois passes. Les tubes souples seront fermés grâce à plusieurs plis pouvant être disposés de différentes manières (*fig.* 15).

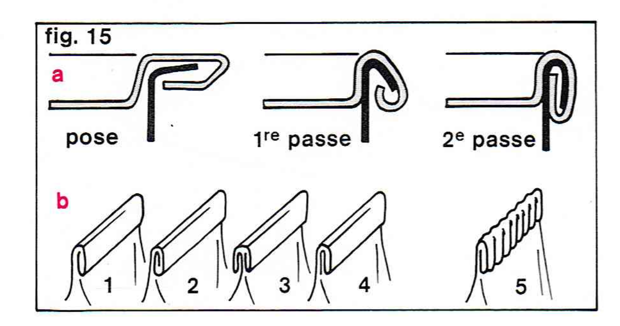
Le thermoscellage consiste à appliquer une surface chaude sur une feuille complexe au contact du récipient. Le film plastique du complexe se ramollit et adhère à l'emballage. On peut, pour des récipients en verre, utiliser cette technique, mais après avoir déposé sur ceux-ci une mince couche de colle : la technique prend alors le nom de *thermocollage*. Ces techniques sont d'usage courant pour les yaourts et les desserts lactés, pour un certain nombre de plats cuisinés conditionnés en barquettes métal et pour les bouteilles de lait en plastique.

Comme pour le remplissage et peut-être parce qu'une fuite se perçoit mieux dans le domaine des liquides, les problèmes les plus sérieux se rencontrent dans le conditionnement des liquides. La notion d'étanchéité y est primordiale. Avant de voir les matériels et les techniques mises en œuvre dans ce cas particulier, il est bon d'avoir en mémoire qu'il y a une complémentarité nécessaire entre l'emballage et son système de fermeture, appelé ici bouchage. L'étanchéité ne pourra être assurée que dans la mesure où le bouchon se positionnera parfaitement sur la bague de la bouteille. Pour des raisons de tolérance de fabrication et également pour des raisons de compatibilité avec le produit contenu, les capsules métalliques sont doublées intérieurement par un joint qui assure l'étanchéité aux liquides et aux gaz. Pour les capsules plastiques, la souplesse du matériau remplit cette double fonction. Il en est de même pour le liège, lequel est comprimé latéralement avant enfoncement. Il adhérera au verre latéralement, les lenticelles se comportant comme autant de microventouses.

L'opération de bouchage avec sertissage se déroule en trois temps :

— prise de la capsule ou du bouchon,
— écrasement du joint pour assurer l'étanchéité,
— sertissage sur la bague du récipient par matrice cylindroconique pour les capsules type couronne ou aluminium déchirable, ou sertissage par molettes métalliques sur le filet de bague pour les capsules à vis.

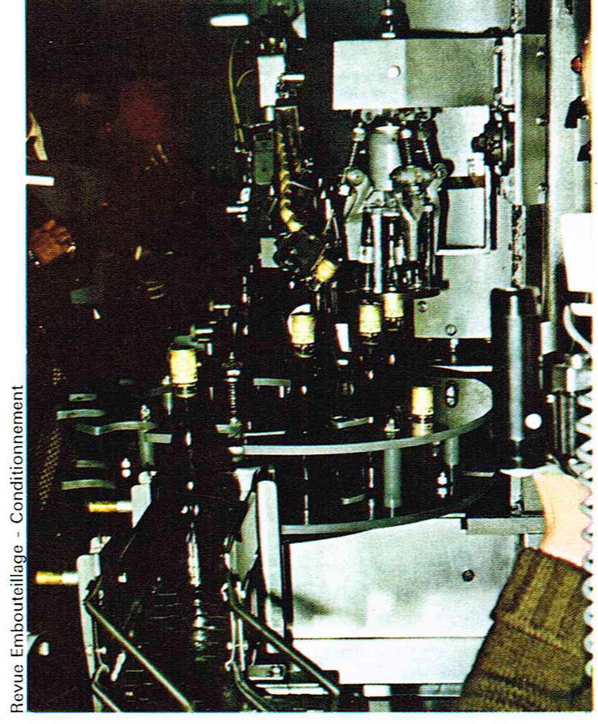
Toutefois, certaines capsules à vis métalliques et les capsules plastiques à vis ont déjà le filet réalisé. Une tête à visser suffira donc. A titre d'exemple, nous donnons à la *figure* 16 le schéma de principe du sertissage d'un bouchon Couronne.





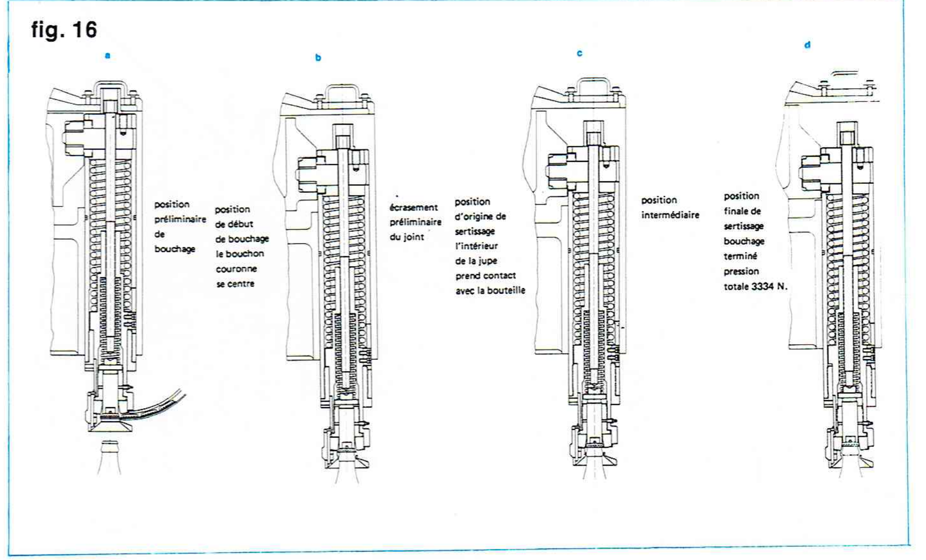


▲ ***Distributeur de capsules et visseuses pour capsules plastiques à vis.***

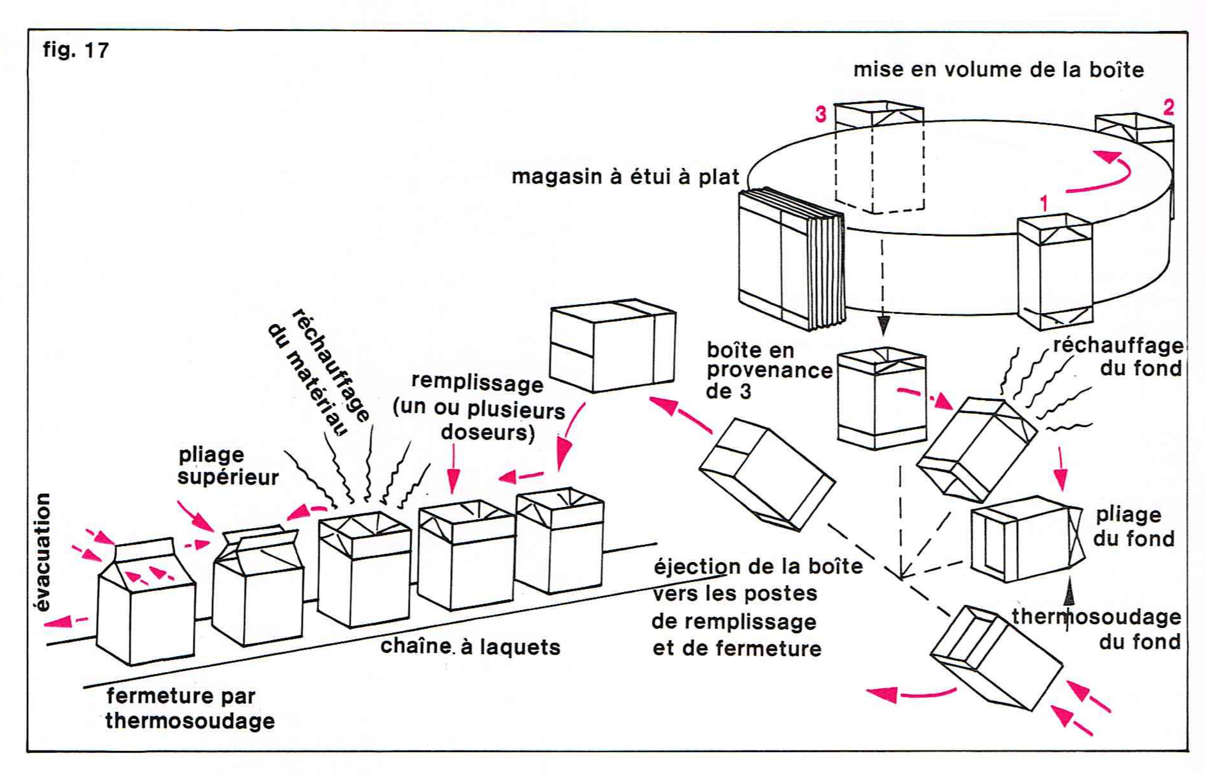



◀ ***Distributeur et sertisseuse de capsules pour bagues à vis. On voit nettement la tête de sertissage équipée de 4 molettes métalliques.***

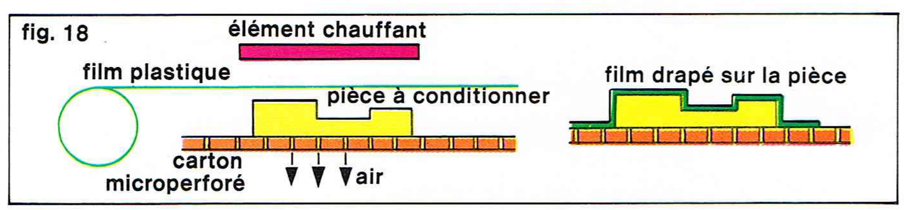
▼ ***A droite, figure 16 : principe de sertissage d'une capsule couronne (document Emballages Couronne). A gauche, figure 15 : a, phases du sertissage d'une boîte-métal; b, disposition possible des plis de scellage sur un tube souple métallique (d'après P.A. Caron,* Nouvelle Encyclopédie internationale du conditionnement des liquides, *C.F.E. Paris).***

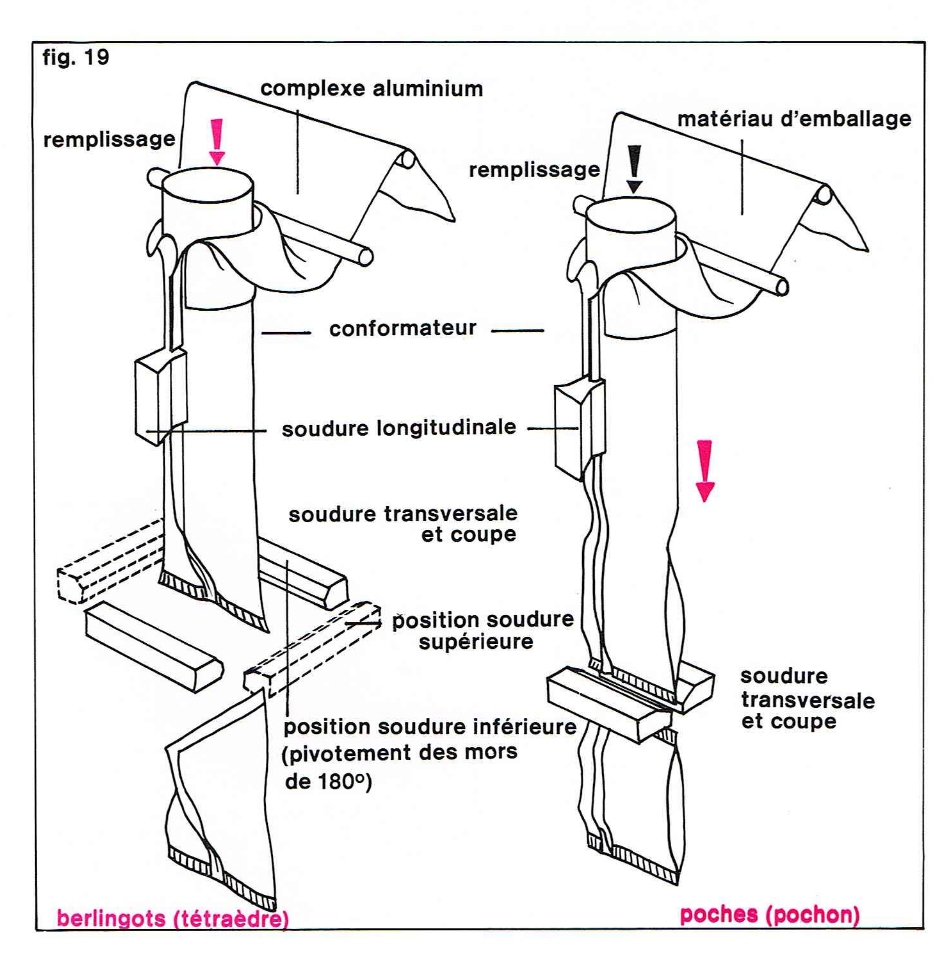


▶ *Figure 17 : succession des opérations d'emballage en « pure-pack » (à partir d'une découpe à plat) [d'après document SCAL].*




▼ *Figure 18 : principe de réalisation de l'emballage « skin-pack ». Figure 19 : emballage souple (d'après document SCAL).*




## *L'emballage se crée autour du produit*

Nous voulons dire par là que l'emballage se forme à partir de découpes et qu'il est immédiatement rempli ou que le contenant prend la forme du contenu s'il est solide ; il se crée effectivement autour du produit. Nous allons développer ces notions à partir de plusieurs exemples.

### *Réalisation de l'emballage à partir d'une découpe à plat*

L'emballage d'origine américaine *pure-pack* est livré à l'industrie sous la forme de découpes, à plat, mais pliées et prêtes au passage sur machine adaptée. La succession des opérations d'emballage en *pure-pack* est la suivante (*fig.* 17) : les découpes sont ouvertes par ventouse et placées sur un mandrin à section carrée. Le fond est rabattu et collé par thermocollage. Puis l'emballage déposé sur une chaîne passe sous des becs doseurs au nombre de quatre, délivrant à chaque cycle 1/4 litre. Il est ainsi possible de remplir avec cette machine des emballages de volume 1/4 litre, 1/2 litre et 1 litre. La fermeture suit par pliage du haut de l'emballage et soudure des bords par thermosoudage polyéthylène-polyéthylène.

### *Enveloppage des produits*

Cette technique est utilisée pour obtenir le conditionnement *skin-pack* ; l'objet à conditionner, posé sur un carton thermocollant microperforé, sert lui-même de moule pour la formation de son emballage (*fig.* 18). En pratique, on thermoforme un film transparent sur le produit et le carton support. Ce film s'autocolle sur le support en drapant l'objet d'une mince pellicule ; l'objet est alors parfaitement immobilisé dans son contenant. Une variante de ce procédé consiste à laisser couler un film à l'état visqueux sur le produit à conditionner.

### *Emballage par débordement*

C'est ainsi que P. A. Caron appelait, dans son *Encyclopédie internationale du conditionnement des liquides*, la technique de la gaine continue remplie du liquide à conditionner dont le scellage, déterminant les dimensions des récipients produits, se fait à même le liquide. On peut effectivement parler de débordement, ce dernier étant constitué par du liquide situé au-dessus de la zone de scellage, et qui remplira le conditionnement suivant. On obtient de cette façon des poches de lait, des berlingots de shampooing ou des « briques » de jus de fruits (*fig.* 19).

## *Les emballages de regroupement et leur réalisation*

Ces emballages ont pour but la constitution de conditionnements destinés soit à la présentation sur le lieu de vente, soit au transport par route ou par fer essentiellement. Il faut y ajouter également la rationalisation et la rentabilisation des zones de stockage. Ces emballages de regroupement utilisent depuis longtemps le carton et le plastique, mais également le métal, depuis quelque temps.

Le carton plat sert à la confection de fardeaux, de même que les films plastiques, que ceux-ci soient rétractables ou étirables. Le carton ondulé intervient dans la confection des caisses dites américaines avec ou sans croisillons et dans le regroupement par enveloppage ou *wrap-around*. Quant au polyéthylène haute densité, il permet la fabrication de casiers de bouteilles et de bacs divers. Enfin, le métal prend place dans ce secteur par le biais des containers-fils destinés aux grandes surfaces de vente.

Le remplissage des caisses américaines et des casiers plastiques utilise le même genre de matériel : l'*encaisseuse*. La technique la plus développée fait appel à des têtes composées d'autant de grappins que de bouteilles à prendre pour remplir la caisse. Une membrane annulaire, située latéralement dans le grappin, se gonfle et enserre le col du récipient, qui est alors transféré de la table d'accumulation dans la caisse. Un diviseur d'emballages alimente avec régularité les files de grappins. Un matériel fonctionnant sur le même principe permet le remplissage des containers-fils. Les cartons sont ensuite fermés par agrafage, par bande gommée ou par collage.

Le principe de l'*enveloppage des charges* est simple dans la mesure où le carton ondulé est plié autour de celles-ci de manière à les emprisonner étroitement. Les côtés sont simultanément rabattus et collés. L'opération d'enveloppage est réalisée souvent par descente du flan préalablement chargé dans une cheminée qui redresse le carton, lui donnant ainsi une forme de U. Une glissière supérieure rabat ensuite le carton au-dessus de la charge. Le collage se fait par colle froide ou, plus souvent, par colle thermofusible à prise rapide (*fig.* 20 et 21).

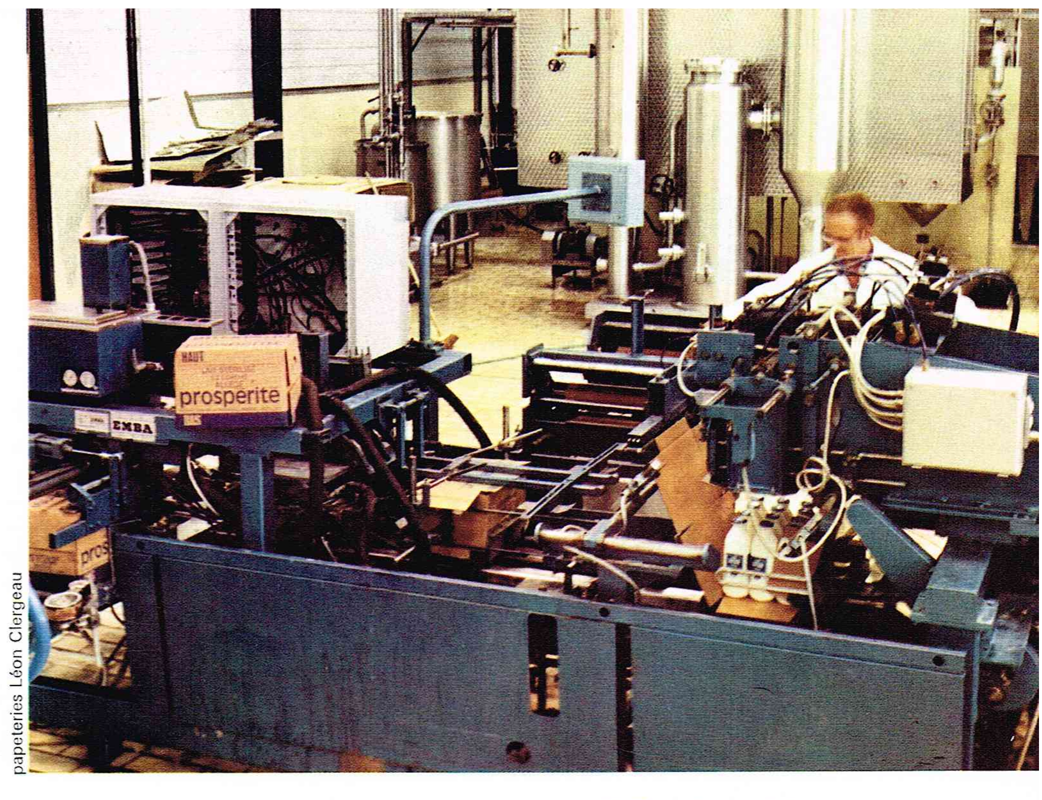
Les *multipacks* sont réalisés sur des machines automatiques qui utilisent des flancs de carton plat prédécoupés. Ceux-ci enveloppent la charge et, grâce à l'existence de languettes de formes différentes (triangulaires et rectangulaires), permettent de bloquer parfaitement l'emballage. Le fond ainsi verrouillé est solide et permet le transport sans difficulté. D'autres découpes de carton donnent des résultats comparables.

Plus particulièrement destinés aux emballages promotionnels, certains matériels regroupent les charges en nombre restreint sous carton ondulé. On obtient ainsi après montage des formes de type valisette munies de poignées. A noter que les découpes bien conçues permettent aussi le calage des contenus fragiles.

D'autres matériels encore pratiquent la préhension des bouteilles au niveau des bagues. Le plus courant de ces emballages est le *top-pack* qui se présente sous forme d'une seule pièce de carton fort, sans collage et sans assemblage, maintenant plusieurs récipients uniquement par leurs bagues. Comme les emballages multiples à entourage total cités précédemment, cet ensemble est préhensible par deux ouvertures ménagées à cet effet.

Récemment apparue sur le marché, une technique de regroupement des boîtes utilise une découpe plastique que l'on force sur les boîtes-métal. Celles-ci sont alors liées entre elles et forment ainsi un ensemble facile à manutentionner.

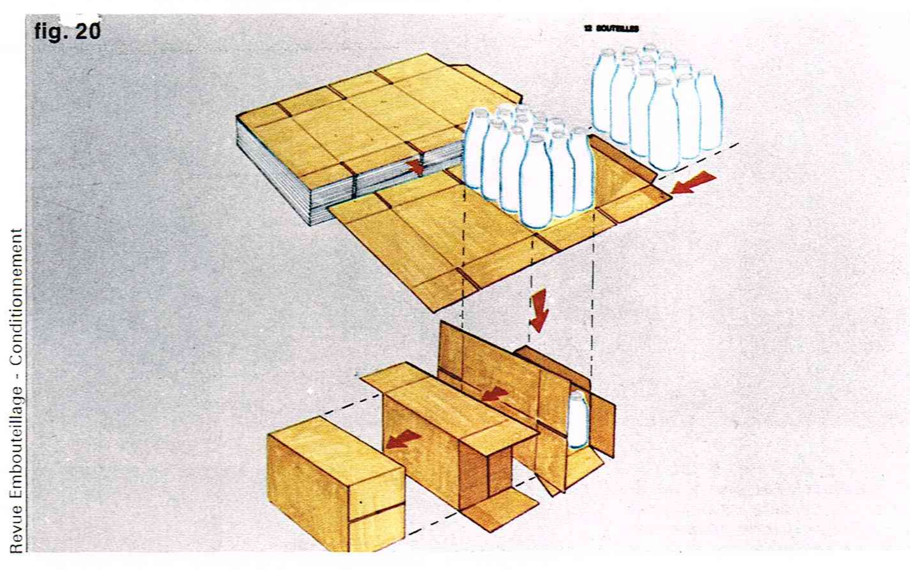
Avec le développement du *film plastique*, on a cherché à diminuer la quantité de carton mise en œuvre dans ces emballages de regroupements. Ainsi sont nées les machines à fardeler avec et sans barquette. La charge globale, enveloppée ensuite dans un film plastique rétractable, traverse un four de rétraction. Le film se rétracte et assure une parfaite tenue de l'ensemble. On peut également utiliser des films étirables, dont la mise en œuvre ne pose plus de réel problème aujourd'hui. Dans ce cas, des mâchoires saisissent le film et l'étirent dans les deux directions perpendiculaires. Puis elles drapent le film sur l'ensemble à emballer. Ce sont ou bien les mâchoires qui sont animées d'un mouvement par rapport



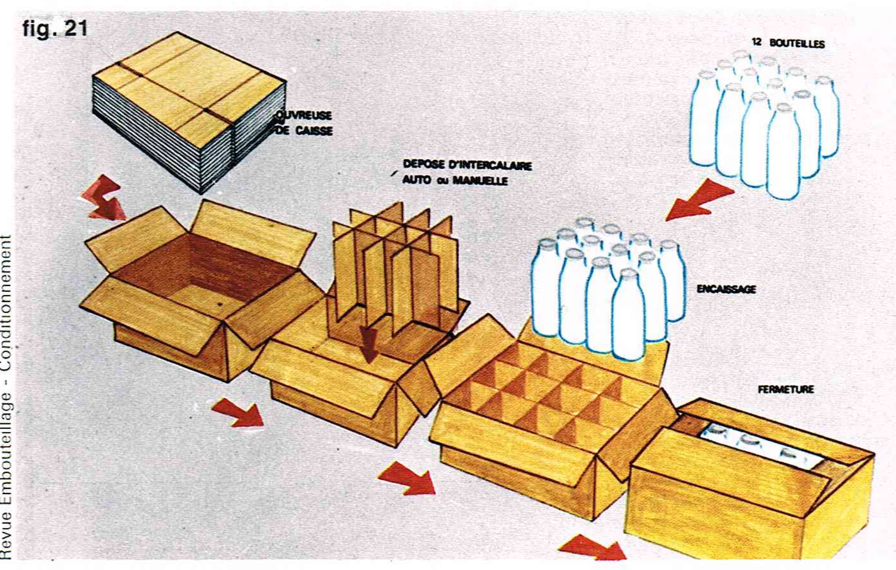

papeteries Léon Clergeau

▲ *Matériel destiné au regroupement des bouteilles de lait par la technique du « wrap-around », dite aussi d'enveloppage.*

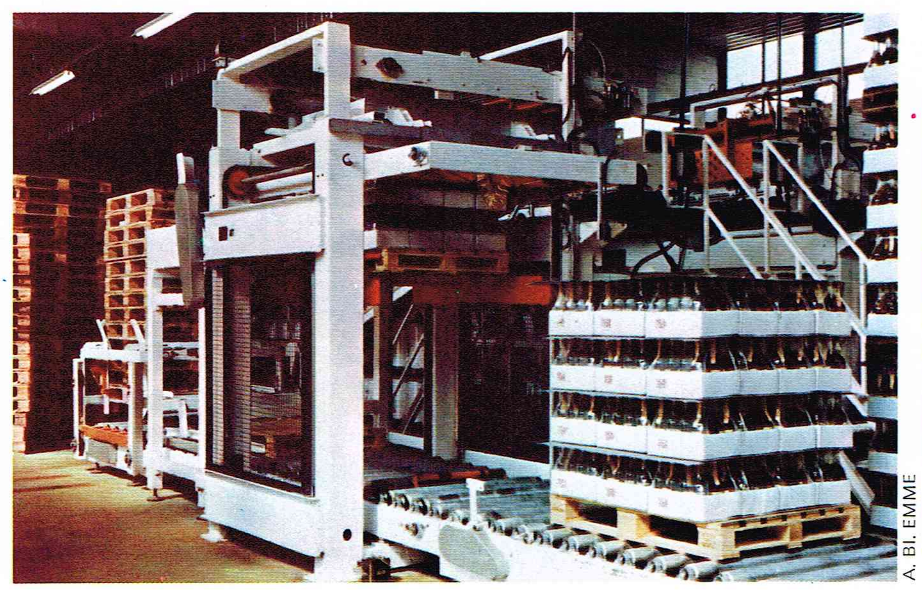
▼ *Figures 20 et 21 : principe de l' « enveloppe des charges » ; le carton ondulé est plié autour de celles-ci de manière à les emprisonner étroitement. Les côtés sont simultanément rabattus et collés.*



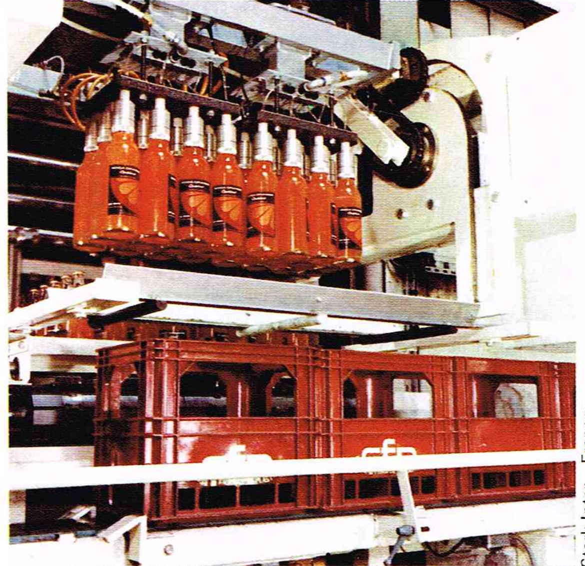

Revue Embouteillage - Conditionnement



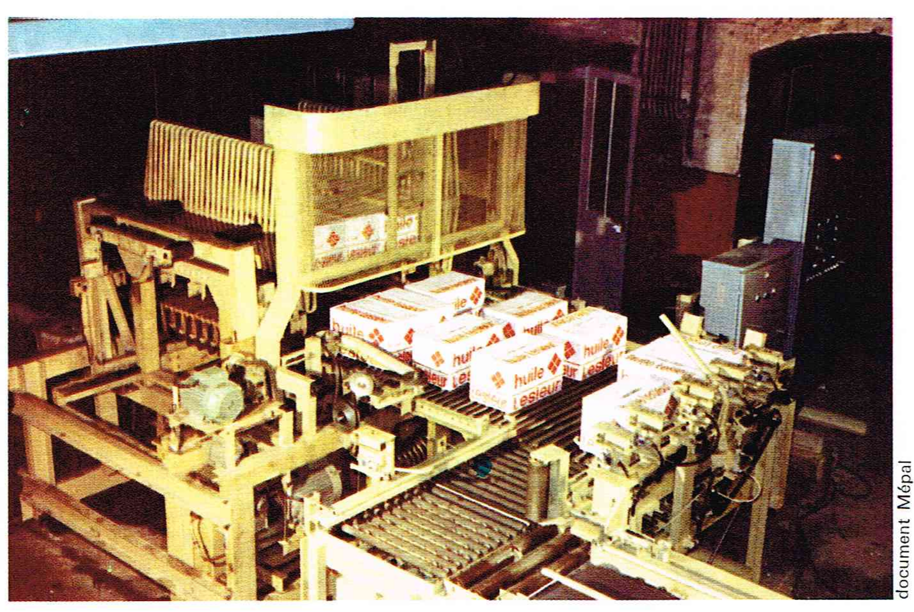

Revue Embouteillage - Conditionnement



A. Bl. EMME



Stork Inter - France



document Mépal

*▲ En haut, à gauche, palettiseur par le haut ; la palette va chercher la couche préformée à la partie supérieure. En haut, à droite, encaisseuse pour casier standard CFP. Ci-dessus, palettiseur par le bas. La charge est compactée à chaque cycle ; préparation automatique de la couche au premier plan.*

à la charge fixe, ou bien la charge qui se déplace verticalement, les mâchoires étant fixes (au moins dans un premier temps), et entraîne le film qui la couvre. Un point de colle ou un thermosoudage, et le regroupement est achevé.

En matière d'emballages de transport au niveau industriel, il faut surtout considérer les **charges palettisées** que de nombreux matériels automatiques sont susceptibles de réaliser. Ces appareils fonctionnent en gros selon quatre principes : palettisation par le haut ; palettisation par le bas ; palettisation par transfert de couches préformées avec changement de niveau ; palettisation par piles (*fig.* 22).

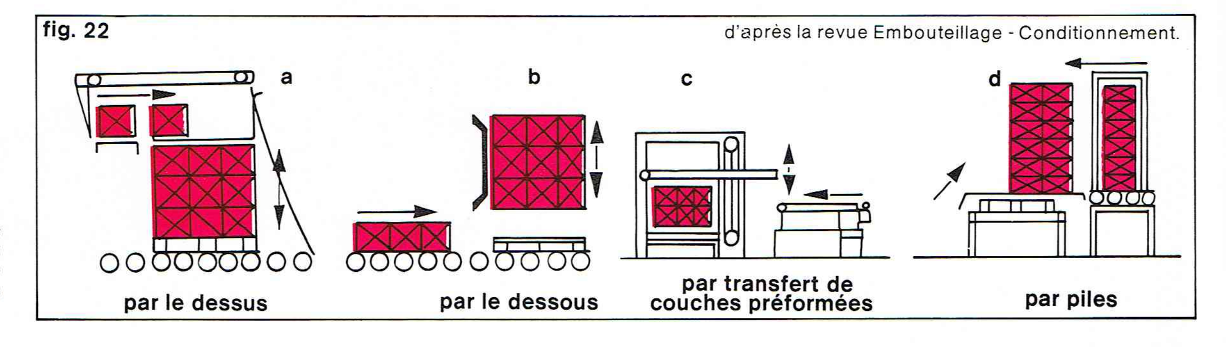
Dans le premier cas, la couche se forme sur un rideau qui s'efface pour déposer celle-ci sur la palette ou sur la couche inférieure, et ainsi de suite jusqu'à ce que la palette soit complète. Dans le second cas, la couche préformée est introduite dans l'appareil qui la soulève pour permettre à une nouvelle couche de pénétrer. Les deux couches sont soulevées simultanément, et ainsi de suite. La palette n'intervient qu'à la fin du cycle. Dans la palettisation par transfert, le plateau portant la couche préformée se meut verticalement et horizontalement afin de déposer sa charge à la hauteur voulue sur la palette en cours de réalisation. Si on lui accorde un mouvement supplémentaire dans la troisième direction, le même équipage peut desservir simultanément plusieurs postes de palettisation. Dans le dernier cas, un ou deux empileurs précèdent le poste de rassemblement des piles. Ils travaillent généralement en alimentation par le bas.

Les charges palettisées manquent en général de stabilité ; aussi améliore-t-on celle-ci en déposant un ou deux traits de colle sur le dessus des cartons afin de lier les couches entre elles, ou bien en houssant les palettes et en les passant au four de rétraction. Il est également possible de cercler les palettes en utilisant un feuillard métallique ou plastique. Des ficeleuses sont même apparues sur le marché ces derniers temps, qui utilisent un cordage.

A noter que la palette en bois est concurrencée par des palettes en plastique et des palettes en matériaux pressés, ainsi que par les feuilles-palettes plus légères ; mais elle demeure toutefois la plus couramment utilisée.

## Le traitement des produits en vue de leur conservation

Ce sont surtout les produits alimentaires qui sont concernés par ce traitement, lequel vise avant tout à détruire les micro-organismes contenus dans le produit ou qui lui ont été apportés par l'emballage et ses accessoires. Il s'y ajoute parfois un problème de stabilité physico-chimique du contenu. Ce dernier point, que nous




*▶ Figure 22 : diverses techniques de palettisation (d'après la revue* **Embouteillage Conditionnement***).*




◀ *Housseuse de palettes; à droite, on voit l'entrée du tunnel de rétraction.*

document Keller-Evraf - photo Hartmann

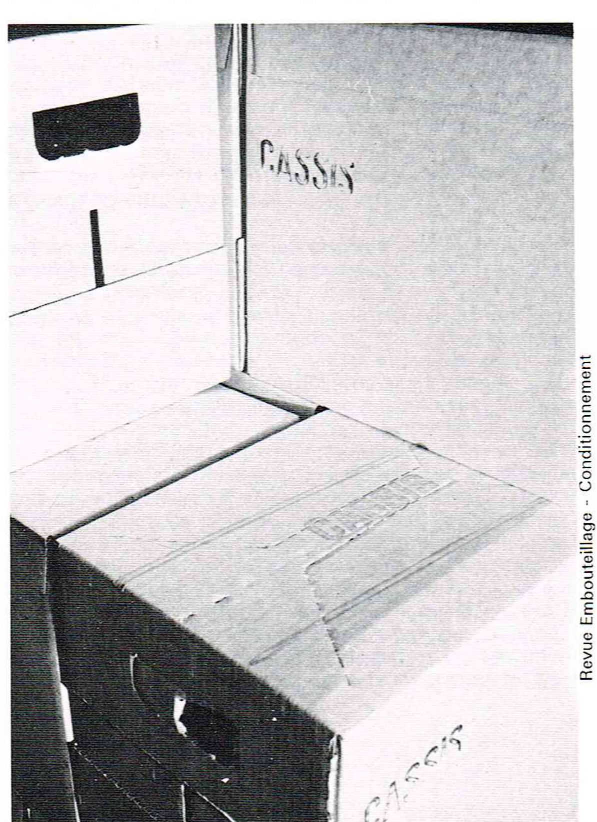
ne faisons que mentionner, met en jeu des méthodes qui agissent sur le produit avant son entrée dans la salle de conditionnement : chauffage, refroidissement, collage, suivis souvent de filtration ou de centrifugation pour éliminer les particules étrangères. En revanche, la stabilité microbiologique des produits met en jeu des techniques qui méritent d'être développées. En France, celles qui sont autorisées pour les produits alimentaires sont essentiellement physiques et utilisent la chaleur comme agent actif. On les nomme, suivant les secteurs, *appertisation, pasteurisation, stérilisation*.

**Appertisation**

Le principe en est simple. Exposés à la chaleur, les micro-organismes sont détruits au bout d'un temps d'autant plus court que la température est plus élevée. On soumettra donc les produits emballés à un traitement thermique plus ou moins prolongé. Le temps d'exposition doit être suffisant pour que le traitement soit bactériologiquement efficace; il ne doit pas l'être trop, car le produit en souffrirait : goût de pain cuit de la bière, caramélisation des produits sucrés, etc. Il n'est pas non plus question de soumettre brutalement le produit à une température trop élevée, car certains emballages ne résisteraient pas à ce choc thermique, notamment les emballages en verre. Pour les boîtes-métal, on peut immerger l'emballage dans un bain à température élevée sans crainte.

Toutefois, et dans chaque cas considéré, il est bon de se rappeler que le produit présente toujours une certaine inertie et que, traversant une zone à 50 °C, par exemple, il n'atteint généralement pas cette température en bout de parcours. Nous retrouvons ici, vis-à-vis de l'emballage, le même phénomène que dans une laveuse de bouteille, mais il est nettement plus marqué, dans la mesure où l'inertie d'un récipient vide est très inférieure à celle d'un récipient plein. Il faudra donc pratiquer par paliers de température pour atteindre la zone la plus chaude d'abord, pour revenir à température ambiante ensuite. La stabilité des températures de chaque zone devra faire l'objet d'une attention particulière. Les chocs thermiques, même s'ils ne provoquent pas de bris de bouteilles dans la machine (stérilisateur, pasteurisateur), fragilisent le matériau et peuvent provoquer des casses ultérieurement, en particulier à l'encaissage où les bouteilles subissent des chocs mécaniques.

Des études approfondies sur l'efficacité des traitements thermiques ont montré que le temps de traitement nécessaire est divisé par 10 si l'on augmente la température de 7 °C pour une même efficacité, et inversement. Ainsi donc, une minute de traitement à 60 °C a le même effet que 6 secondes de traitement à 67 °C ou que




Revue Embouteillage - Conditionnement

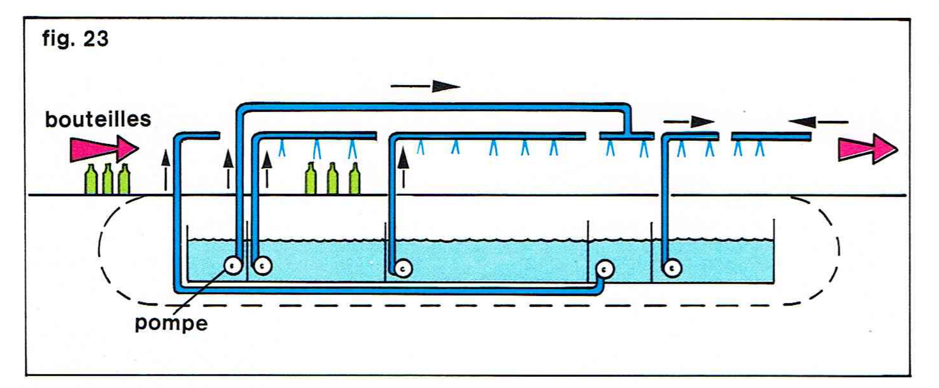


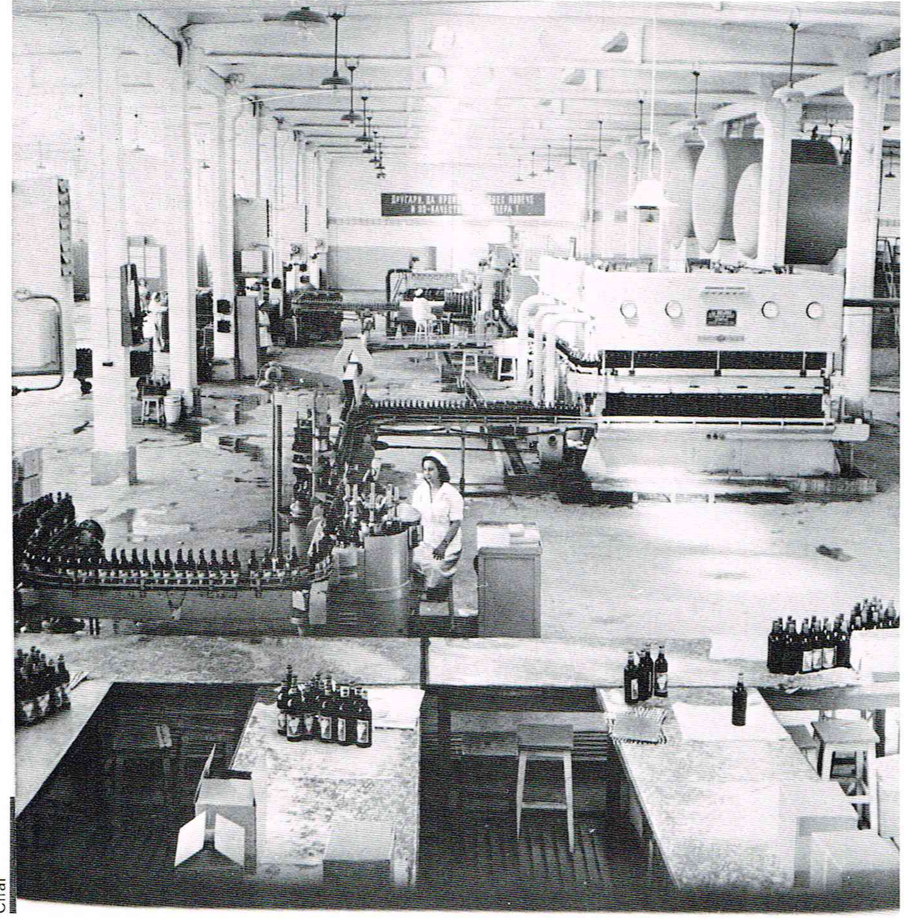
document S.A.T.

◀ *A gauche, deux traits de colle aident à stabiliser une charge palettisée. La séparation des cartons se fera par simple arrachage. A droite, rétraction d'une housse au moyen d'un pistolet de rétraction.*

10 minutes à 53 °C. Il est alors possible, connaissant le diagramme de pasteurisation température-temps et choisissant un « étalon efficacité », de chiffrer le résultat global d'un traitement thermique. Des tests en laboratoire à l'échelon industriel peuvent conduire à la définition, pour chaque produit, d'une limite en deçà de laquelle il ne faut sous aucun prétexte descendre, pour obtenir une appertisation, une pasteurisation ou une stérilisation correcte.

Ces tests prennent en compte une population microbienne existant *a priori* dans le produit; ainsi donc, si la population réelle dépasse ce chiffre, malgré le respect du diagramme de traitement déduit du calcul théorique, l'efficacité sera insuffisante, et les micro-organismes ne seront pas tous détruits, ce qui nous conduit à souligner une fois encore combien les précautions d'hygiène sont importantes à tous les stades de la fabrication; elles seules permettent de parvenir en bout de chaîne à une population microbienne aussi réduite que possible. Certains principes doivent être bien assimilés par le personnel, notamment en ce qui concerne la vitesse de multiplication des germes à température ambiante : il suffit de 24 heures à un micro-organisme pour engendrer une population aussi nombreuse que celle de l'agglomération parisienne (plus de cinq millions d'individus). La vitesse de multiplication augmentant avec la température ambiante dans les conditions normales de travail, on s'efforcera de manutentionner les produits à basse température si l'on désire leur assurer des temps de conservation importants. C'est ainsi que les liquides alimentaires sont souvent stockés et emballés à quelques degrés au-dessus de zéro : lait, bière, cidre, etc.



▼ *Figure 23 : principe de fonctionnement du pasteurisateur-tunnel. En bas, ligne d'embouteillage équipée d'un pasteurisateur. On reconnaît une soutireuse à l'arrière-plan et une étiqueteuse au premier plan (réalisation Cifal-Bulgarie).*

Cifal

### Pasteurisation

Il existe deux types de *pasteurisateurs :* des pasteurisateurs à entrée et sortie du même côté, et des pasteurisateurs-tunnels où entrée et sortie sont diamétralement opposées. Les emballages pleins sont chauffés par aspersion à l'eau chaude. Dans le premier modèle de pasteurisateur, l'eau arrose successivement les bouteilles du brin entrée de la chaîne et celles du brin sortie. Elle réchauffe ainsi les premières bouteilles, et refroidit ensuite les secondes. A noter que les récipients sortent du pasteurisateur à une température supérieure à la température ambiante, voisine de 35 à 40 °C. Le refroidissement s'achève sur la chaîne, en aval du pasteurisateur. En ce qui concerne les pasteurisateurs-tunnels (*fig.* 23), l'eau qui a réchauffé les récipients sur une certaine zone est récupérée dans un bac, repompée, et sert à refroidir les bouteilles dans la zone de retour à température ambiante. Par leur construction, les matériels du premier type sont plus compacts, mais ils sont limités en rendement; les seconds, au contraire, peuvent recevoir un, deux, voire trois niveaux, ce qui augmente sensiblement les possibilités offertes. Un constructeur italien de pasteurisateurs présentait récemment un matériel réalisant le traitement de 120 000 bouteilles par heure.

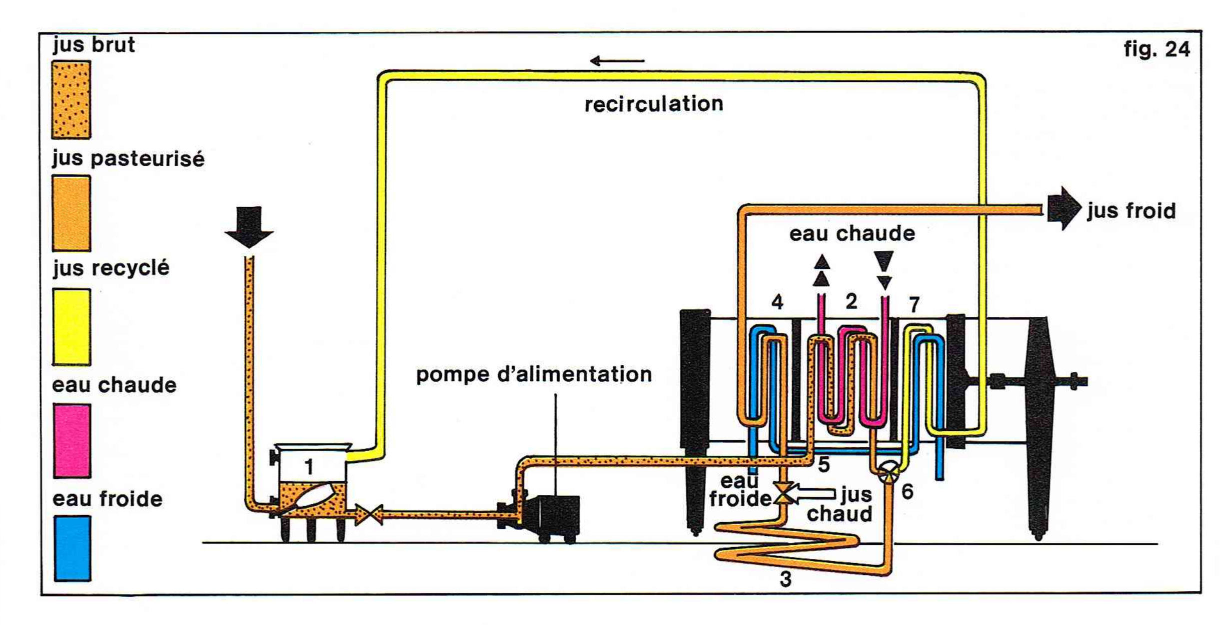
### Stérilisation

Le principe fondamental de la *stérilisation* est le même que celui de la pasteurisation, à ceci près que la température maximale atteinte est plus élevée. L'agent de chauffage est alors la vapeur. Le matériel n'est plus en longueur mais en hauteur (tour de stérilisation), et les récipients montent et descendent plusieurs fois dans cette tour.

Au cours de ces opérations, le liquide se dilate plus que son emballage, d'où la nécessité de toujours prévoir un espace mort dans le récipient. Mais cet espace contient toujours un gaz dont la pression va augmenter elle aussi. Aussi faut-il trouver le compromis qui permet d'absorber la dilatation du liquide, l'augmentation de pression, sans pour cela mettre au contact du produit un agent risquant de l'altérer. C'est une des raisons qui amènent des industries à mettre en œuvre des techniques particulières au niveau du remplissage afin de remplacer l'air présent dans les emballages vides par un gaz inerte vis-à-vis du produit (gaz carbonique pour la bière et les boissons carbonatées; azote pour les jus de fruits, etc.) Le simple chauffage d'un produit dans un récipient dont la fermeture est appropriée permet de chasser une grande partie de l'air contenu dans l'espace mort (la pression comprime le joint et permet le passage du gaz vers l'extérieur). Au refroidissement, le joint reprend sa place, et il se crée un vide relatif dans l'espace mort. Il se passe un phénomène similaire si le produit est mis chaud dans son emballage avec fermeture immédiate du contenant.

Il est également possible de pratiquer, pour des durées de conservation imposées plus réduites, le **traitement thermique du produit avant l'emballage.** Dans certains cas, ce traitement s'identifie à une phase de la fabrication (cas de la confiture). Mais il importe de remarquer qu'aucun traitement ultérieur de stabilisation n'intervenant, les conditions hygiéniques de travail au-delà de la préparation des emballages et après l'appareil de traitement du produit doivent être parfaites.

La moindre inattention, une machine mal nettoyée, mal désinfectée, et c'est le drame : une fabrication perdue parfois et une image de marque de la société et du produit gravement ternie. Le produit en vrac est porté pendant un temps très court (90 secondes au lieu de 50 minutes de traitement en pasteurisation) à une température plus élevée que pour la pasteurisation (90 °C au lieu de 62 °C). Il est ensuite ramené à sa température initiale avant remplissage du contenant. On peut aussi profiter de ce traitement pour effectuer un remplissage à chaud (brasserie et traitement du lait pasteurisé).




◀ *Figure 24 : schéma de principe d'une installation de pasteurisation en vrac de jus de fruits (document Société A.P.V., Evreux).*

Le matériel utilisé est un échangeur dans lequel le produit circule à contre-courant du fluide de traitement. On utilise, pour des raisons d'économie, le produit traité chaud pour réchauffer le produit non traité, à son entrée dans l'appareil. Les échangeurs sont soit du type tubulaire, soit, beaucoup plus fréquemment, du type à plaques. Le produit à traiter circule entre les plaques (une sur deux) à contre-courant avec le fluide de chauffage, lequel se trouve entre les plaques restées libres. Ces deux circuits ne se mélangent pas (*fig.* 24).

Le lait UHT subit aussi un traitement thermique, mais sa durée est très courte : 1 à 2 secondes ; et la température très élevée : 150 °C. On obtient ce résultat par injection de vapeur d'eau à la température requise dans le lait, par exemple.

Nous signalons également une technique utilisée pour le traitement thermique de certains produits, dont le vin : le **traitement par rayons infrarouges.** Le chauffage du produit se fait par contact avec des éléments générateurs de rayons infrarouges.

Pour terminer ce chapitre de la stabilisation des produits en vue de leur conservation, il nous faut aussi mentionner l'utilisation dans les produits alimentaires de **conservateurs chimiques.** Pour pouvoir être utilisés, ils doivent avoir été expressément autorisés. Là encore, comme pour les produits admis au contact des denrées alimentaires, une liste positive a été dressée. Ils n'ont pas d'action bactériologique, mais surtout un effet anti-oxydant.

## *La manutention et le stockage des emballages*

Il y a à la fois peu et beaucoup à dire sur ce sujet. Nous ne pourrons donc ici que l'aborder en cernant les postes où il y a transfert ou transport des emballages. Nous excluons immédiatement ce qui se passe dans les machines en rappelant qu'à l'entrée d'un matériel les emballages sont mis au « pas », par exemple par une vis et une étoile, afin de synchroniser leur mouvement avec celui des parties mobiles dudit matériel : sellettes porte-emballages et têtes des remplisseuses, têtes des boucheuses, paniers des laveuses, etc.

Dans l'atelier de conditionnement, les zones de transfert correspondent aux passages d'un matériel au suivant. Les récipients sont toujours entraînés par un transporteur, mais, en cas d'accumulation, le transporteur doit pouvoir continuer à tourner sans qu'il en résulte pour autant un risque pour l'emballage. C'est ainsi qu'une lubrification des chaînes suffira pour des bouteilles mais que, pour des casiers, il faudra se tourner vers d'autres techniques : rouleaux débrayables par exemple. Plus les cadences sont rapides, plus les vitesses des emballages sont grandes, et plus le bruit est important.

▼ *Les chaînes (ici, à palettes) doivent être parfaitement lubrifiées pour permettre le glissage sous les bouteilles en cas d'accumulation.*



Revue Embouteillage - Conditionnement

De nombreuses difficultés apparaissent, et la meilleure solution — mais elle n'est pas toujours réalisable — consiste à manutentionner individuellement chaque contenant du début à la fin de la chaîne de conditionnement. On pourra au moins synchroniser les machines et les transporteurs de manière à faire varier les vitesses des machines et des transporteurs en fonction de l'environnement amont et aval, avec une limite supérieure évidemment : celle des machines installées. Tout serait simple si les machines tournaient toutes en même temps à la même vitesse, mais il y a les impondérables (pannes, incidents de fonctionnement) et les arrêts d'alimentation normaux (changement de produit à la remplisseuse, par exemple). Il faut donc prévoir des tampons entre les machines pour qu'il n'y ait jamais d'arrêt, si possible, de l'ensemble. Cela explique que les transporteurs n'aient pas partout, sur le circuit bouteilles ou sur le circuit boîtes, la même largeur. On peut temporairement emmagasiner des casiers, par exemple pour garder un tampon disponible, sur le circuit caisses, entre la décaisseuse et l'encaisseuse.

Les transporteurs les plus couramment utilisés sont les suivants : transporteurs à rouleaux commandés ou non, transporteurs à roulettes, transporteurs à chaîne (parmi lesquels ascenseurs et descendeurs pour changement de niveau), transporteurs à palettes, transporteurs à courroie (permettant aussi le changement de niveau), convoyeurs à chaîne tractive (aériens ou encastrés dans le sol).

Un certain nombre de machines ne travaillent bien qu'avec une accumulation en amont, d'où la présence

▶ *Sous housse protectrice, le stockage des emballages neufs peut se faire à l'extérieur.*




Ian Berry - Magnum

à l'entrée de ces matériels d'une table permettant une alimentation correcte. C'est le cas des laveuses et des encaisseuses, par exemple. Ces tables d'accumulation sont composées d'un nombre important de convoyeurs unitaires juxtaposés et synchronisés quant à la vitesse d'entraînement. Inversement, il faut dégager rapidement des ensembles d'emballages au niveau d'autres matériels tels que dépalettiseurs par couches ou décaisseuses. On utilise alors une table de déchargement, sœur jumelle, dans sa conception, de la table d'accumulation.

Le stockage des emballages comprend deux sections : la zone « vide » et la zone « plein ». Pour la zone « vide », et chaque fois que la chose est possible, on stocke à l'extérieur. Cela n'offre aucun inconvénient pour les emballages consignés revenant de la clientèle en casiers plastique, ni pour les récipients neufs livrés sur palettes par couches avec barquettes ou intercalaires et recouvertes d'un film rétractable. Il faut toutefois penser que les palettes en bois sont sensibles à l'eau. On conservera juste la quantité suffisante d'emballages vides à proximité des zones de dépalettisation.

En revanche, les emballages pleins devront être sous toit, car le froid, le soleil ou les intempéries risquent de nuire au produit, à son emballage ou à son suremballage. Le soleil nuit aux qualités organoleptiques de la bière ; le froid risque de faire éclater des bouteilles après prise en masse du contenu ; l'eau n'arrange pas les cartons. Enfin, en matière d'emballages vides, on ne laissera pas à l'extérieur des récipients livrés en cartons.

Pour les découpes de carton mises en œuvre dans le suremballage, il faudra respecter certaines conditions de température et d'hygrométrie dans les zones de stockage réservées à cet effet. Les matériels qui traitent le carton pour l'emballage primaire de produits alimentaires ou pour le suremballage de conditionnements unitaires sont très sensibles à l'état du matériau. On peut voir le rendement de ces machines varier de plusieurs points si le degré d'hygrométrie s'éloigne de son optimum voisin de 45 % (ce qui correspond à 5 % d'humidité relative au niveau du carton). Pour les rouleaux de complexes à base de carton, on estime qu'un stockage au sec sans souci d'hygrométrie et de température suffit.

Ainsi que nous l'avons déjà signalé, l'espace immobilisé coûte cher, aussi a-t-on intérêt à stocker un maximum de produits sur un minimum d'espace. Cela se fera en regroupant les emballages sous forme de charges aussi compactes que possible. Ces charges pourront, en outre, être gerbées sur plusieurs hauteurs. On sera, bien entendu, limité par la hauteur sous plafond, mais plus encore par la résistance du sol, à considérer avant de modifier un système de stockage. C'est ainsi qu'une société a vu un jour le plancher de son premier étage s'effondrer parce



Ian Berry - Magnum

▶ *Au niveau des zones de stockage de chargement, les charges palettisées sont manutentionnées le plus souvent par des chariots élévateurs autonomes.*

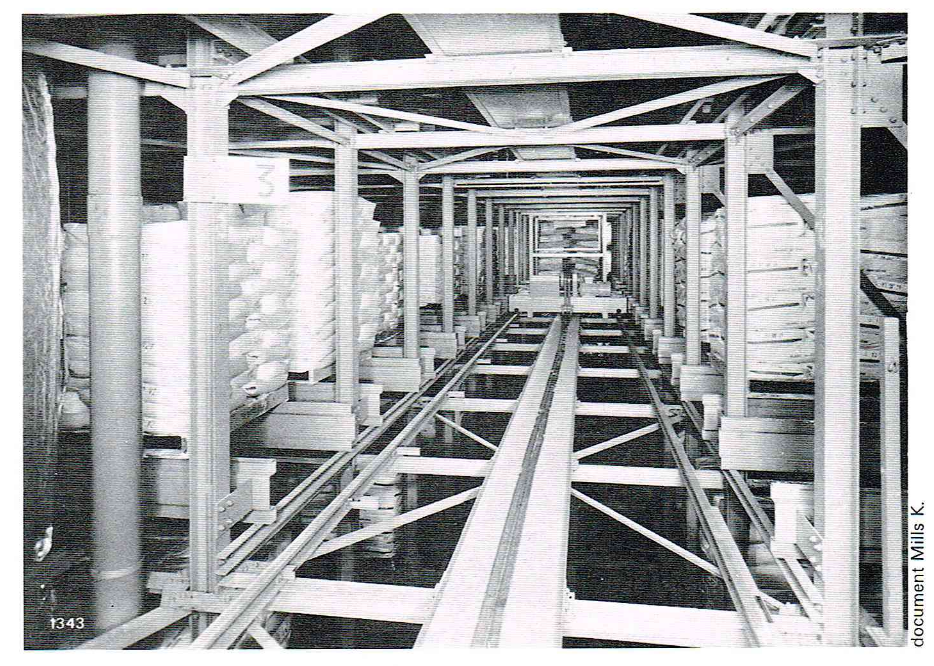
qu'elle avait décidé de stocker des cartons à plat au lieu de cartons préformés comme elle le faisait jusqu'alors.

Autre disposition intéressante, la juxtaposition des zones dévolues au plein et au vide dans la mesure où, les stocks « respirant », il est possible d'empiéter en cas de besoin sur la zone voisine. Il faut effectivement savoir qu'un stock minimal est indispensable et que celui-ci évolue dans une année, la demande n'étant pas constante. La consommation des boissons rafraîchissantes augmente en été, et il faut, en prévision de cette demande accrue, un stockage prévisionnel multiplié par 2 ou 3.

La manutention des charges palettisées s'effectue par transpalettes à traction manuelle ou électrique, avec conducteur porté ou non, par chariots élévateurs à fourches électriques, à moteur à gaz ou Diesel, ceux-ci étant seuls capables de gerber les palettes, encore qu'il existe quelques matériels du type gerbeurs de palettes correspondant à un transpalette perfectionné.

Depuis quelque temps et afin de mieux gérer les stocks, des magasins à grande hauteur ont été construits, pilotés par ordinateur. Ils sont composés de cellules affectées à certains produits et référencés par l'ordinateur. Un « transtockeur » introduit les charges dans ces alvéoles suivant les disponibilités et les reprend en fonction de la demande du service commercial.

Nous serions incomplet sur ce sujet si nous ignorions les **accessoires d'emballage et de conditionnement.** Il s'agit des détergents pour le lavage, des lubrifiants de chaîne, des bouchons et capsules, des étiquettes, de la colle, des bandes gommées, des agrafes, des housses plastiques, des feuillards, etc. Ils ne sont évidemment pas stockés avec les emballages pleins ou vides mais dans des lieux qui leur sont propres, à proximité du point d'utilisation souvent, et dans les conditions requises. L'humidité est encore l'ennemi n° 1, notamment pour les joints liège, pour les étiquettes. Le gerbage inconsidéré de certains types de capsules peut entraîner des déboires lors de leur mise en œuvre.




document Mills K.

▲ *Dans ce magasin à grande hauteur, les alvéoles, à chaque niveau, sont desservis par un « transrobot ».*

## *Le conditionnement et son environnement*

Ainsi que nous le disions au début de notre développement, le terme de conditionnement fait intervenir des paramètres subjectifs. Il s'agit en fait de conférer à un produit, par le biais d'un emballage approprié, les caractéristiques que le consommateur souhaite lui attribuer *a priori*. Dans ces conditions, il est probable que celui-ci aura des motivations d'achat.

Conditionner quelqu'un, c'est agir sur son inconscient pour provoquer une modification de ses réactions et les orienter dans un sens souhaité. Conditionner un produit signifiera modifier ses paramètres intangibles, et notamment sa présentation extérieure pour le parer de qualités attractives. Il est évident que, pour des produits de première nécessité, cette notion de conditionnement est devenue particulièrement importante du fait de la mutation des formes de commerce ces dernières années. Avec le développement du libre-service et des grandes surfaces, le produit industriel de grande consommation doit être son propre vendeur. Le commerçant traditionnel connaissait ses produits et conseillait sa clientèle en fonction de ses habitudes et de ses penchants connus de lui. Tout cela a disparu aujourd'hui, et le consommateur fait son choix parmi de nombreux produits similaires qu'il ne connaît pas ou qu'il connaît mal. Il faut donc d'abord attirer son attention, ensuite l'intéresser et lui plaire pour déclencher, en troisième étape, l'acte d'achat. Les motivations régissant chacune de ces étapes sont étudiées depuis de nombreuses années, et quelques conclusions ont déjà pu être tirées.

### *Comment un conditionnement peut-il attirer l'attention ?*

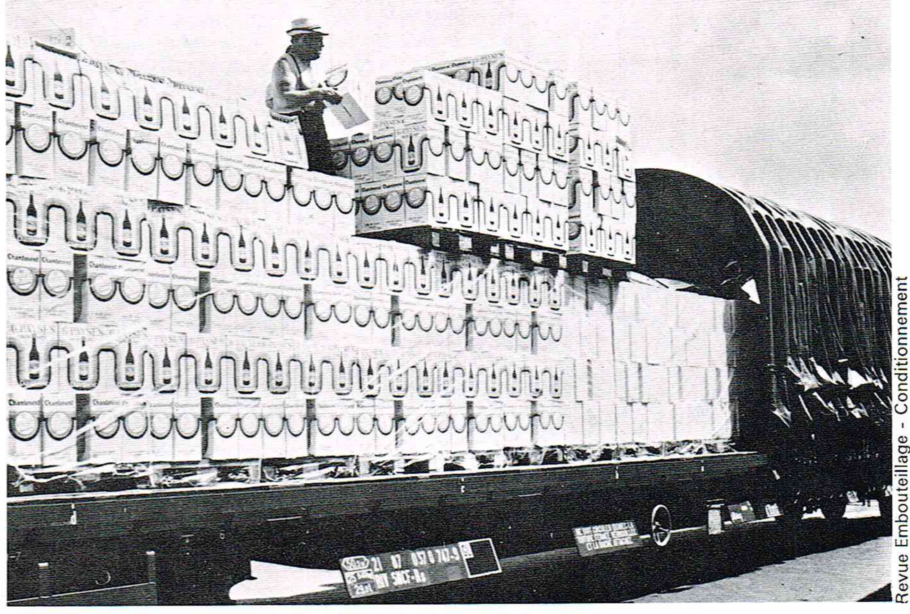
Trois possibilités à ce niveau : l'emballage en lui-même est particulier; une couleur ou un motif coloré caractérise l'emballage; un graphique particulier frappe l'œil au passage.

● L'emballage peut se distinguer par le **matériau** mis en œuvre ou par sa **forme.** Dans le secteur des liquides alimentaires, où le verre prédomine, une boîte en métal ou un emballage en complexe-carton attire l'attention, de même des bocaux en verre au milieu du rayon des conserves de légumes essentiellement constitué de boîtes métalliques. La forme de l'emballage peut aussi compter dans la mesure où intervient à un moment déterminé une forme nouvelle : vin en carafes ou en aiguières; eau en bouteilles plastiques à section carrée; pâté en terrines; boîtes de bonbons ayant la forme de personnages célèbres (Donald, Mickey, père Noël, saint Nicolas, etc.) ; bas et collants pour femme dans des pommes de plastique, etc.

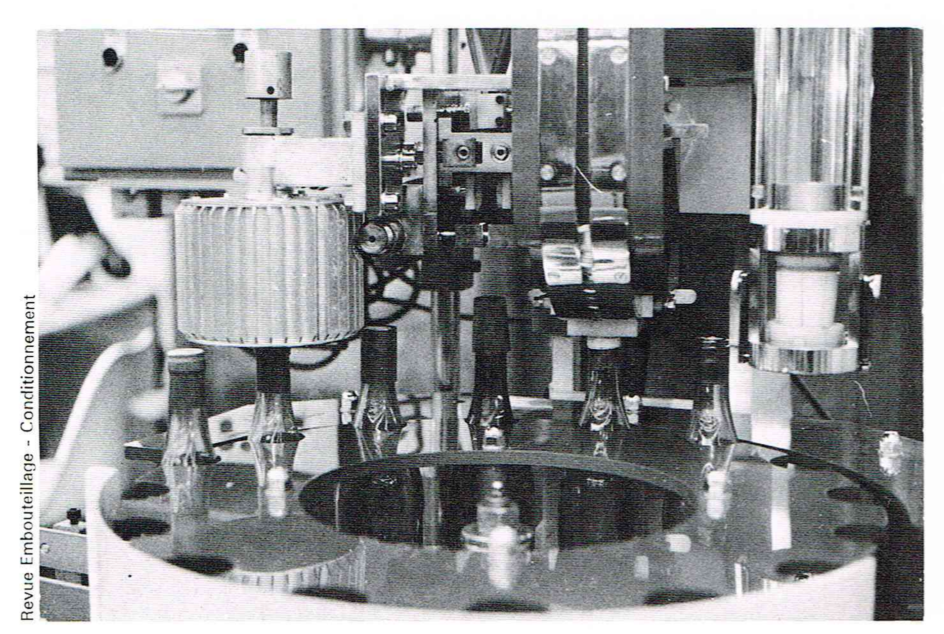
● Nous savons tous que certaines **couleurs** attirent nos regards plus que d'autres : un rouge vif plus qu'un bleu pâle, un vert plus qu'un beige, un blanc plus qu'un gris, etc. Le support de ces couleurs peut être l'emballage lui-même ou un de ses accessoires : surcapsules, étiquettes. Dans certains cas, des décors répétitifs marquent la présence des emballages par l'harmonie d'ensemble qui s'en dégage : vague de certaine marque laitière bien connue.

● Les **graphismes** permettent aussi d'attirer l'attention de l'acheteur potentiel dans la mesure où, se détachant sur un fond relativement terne, ce sont eux qui agissent comme une couleur vive. La forme d'ensemble du *sigle*, sa compacité, sa perception sont autant d'éléments qui

▼ *Un décor motif répétitif est un élément de repère, un signal motivant pour le consommateur.*



Revue Embouteillage - Conditionnement



Revue Embouteillage - Conditionnement

▲ *Il est possible de remplacer la surcapsule par un simple manchon rétractable qui donne une présentation comparable au surbouchage. Sur ce document, les diverses phases de l'opération.*

jouent sur l'attrait que pourra exercer l'emballage dans un linéaire.

Car finalement, tout cela est bien relatif. Si tous les produits étaient emballés dans des récipients de même couleur, ils auraient beau, pris séparément, attirer l'œil, rien d'important ne les distinguerait, regroupés côte à côte. C'est par rapport aux emballages concurrents qu'il faut tester le sien. Dans l'ensemble, un conditionnement bien étudié gagne à être revu deux ans plus tard, car, en général, quand une présentation a du succès, elle est très vite imitée.

Il existe des matériels conçus pour la comparaison de deux emballages. Leur principe est simple : partant d'un dispositif optique déréglé, on amène celui-ci progressivement à la netteté. Le sujet testé indique ses impressions, ce qu'il voit, dans quel ordre, l'emballage qu'il reconnaît le premier, etc. Grâce à ces analyses fines portant sur plusieurs types de conditionnements, on peut choisir celui qui a le meilleur impact. A noter que le graphisme est testé lui aussi sur ce même appareil. Après mise au point, on laisse la personne testée observer le conditionnement pendant des temps déterminés, de plus en plus longs. On note, pour chaque produit, le temps minimal de vision nécessaire à sa reconnaissance.

Cela est très important dans les linéaires où le consommateur donnera la préférence à une marque qui lui a déjà donné satisfaction si, lors d'un autre achat, il la reconnaît par son sigle. A moins qu'il n'en ait entendu parler lors d'une séquence publicitaire à la radio ou à la télévision. Ce sigle est une chose primordiale, car, pour le fabricant, c'est un signal dirigé vers le consommateur. Il doit d'ailleurs être doublé de signaux secondaires qui identifient et expliquent les fonctions, attributs et qualités du produit. C'est ainsi que la couleur rouge désigne le lait entier, la couleur bleue le lait demi-écrémé. Chaque industriel peut jouer sur un clavier de couleurs pour différencier ses diverses fabrications.

## *Comment un conditionnement peut-il intéresser et plaire ?*

Il convient de rappeler que l'emballage et ses accessoires sont le seul lien entre le fabricant du produit et le client, c'est pourquoi l'image de marque, ou l'image du produit, dépend souvent de la perception de l'emballage. Or celle-ci se fait à deux niveaux : au moment du choix-achat et à celui de la consommation-jugement.

Dans le premier cas, nous sommes amené à l'attractivité de l'emballage. Contrairement à une opinion assez répandue, le consommateur ne lit pas toujours l'information sur l'emballage au moment de l'achat, mais souvent ensuite, à son domicile. On a constaté par exemple que, pour des produits présentés à table dans leur emballage, beaucoup de personnes contemplent, lisent, jugent au moment exact où, la bouche pleine au repas, empêchées de dialoguer, leurs yeux se fixent par besoin sur l'emballage. C'est à ce moment curieux, apparemment sans intérêt, que se construit souvent dans le cerveau de beaucoup de consommateurs l'image qu'ils se font d'une entreprise et de ses produits. Cela explique l'importance que l'on attache à cet instrument privilégié de communication.

Plaire, l'emballage le peut dans la mesure où il renferme ce que le consommateur recherche pour son existence quotidienne : sel, pain, sucre, eau, huile, etc. Dans ce cas, le consommateur est guidé par des questions de prix surtout. En revanche, pour des produits moins courants, de valeur marchande plus élevée, le consommateur est sensible à la perception globale du produit ; il transfère au contenu les impressions que lui laisse le contenant. Ainsi, le matériau plastique est considéré comme une formule moderne, pratique, de notre temps, mais avec beaucoup d'inconvénients, cependant que le verre demeure dans l'esprit de bien des gens une formule traditionnelle à laquelle il faut rester fidèle ; le consommateur est d'avis que le verre assure une conservation optimale, alors que le plastique en donne une mauvaise. On trouve des résultats semblables si on considère les rapports contenant-contenu au niveau de l'hygiène du contenu et de la santé : la plus mauvaise conservation des propriétés organoleptiques est attribuée au métal.

Une bouteille de vin aura plus de succès si elle est en verre que si elle est en plastique, car le vin est considéré comme un produit noble : il « mérite » donc le verre. En revanche, l'eau de source se contente de la bouteille plastique, car c'est la légèreté de l'emballage qui prime ; nous y ajouterons la couleur légèrement bleutée de l'emballage qui, dans l'esprit du consommateur, rappelle la limpidité des torrents de montagne et symbolise la pureté. Le lait, symbole de pureté et d'hygiène, ne saurait être emballé dans un emballage aux couleurs criantes, la couleur blanche doit prédominer ; en outre, le complexe-carton semble mieux accepté que la bouteille plastique.

Dans certains cas, le conditionnement se doit de répondre au désir psychologique de l'acheteur. C'est ainsi que le chef de produit de *Meccano* expliquait récemment : « Pour les cadeaux de Noël ou d'anniversaire, nous ne pouvons pas présenter de jouets dans des boîtes trop petites. Tout simplement parce que cela ne correspondrait pas à l'image que se font les enfants d'un cadeau de Noël. Par contre les boîtes qui complètent les hobbys avec des accessoires sont plus fonctionnelles. » La dimension a aussi son impact. *Unilever* a ainsi préféré rejeter une proposition de ses services techniques visant à diminuer la hauteur de ses barils du fait de progrès technologiques réalisés au remplissage, par crainte de voir ses ventes diminuer. Le consommateur est en effet très sensible au volume extérieur. Il se satisfait alors d'une impression, fût-elle fausse.

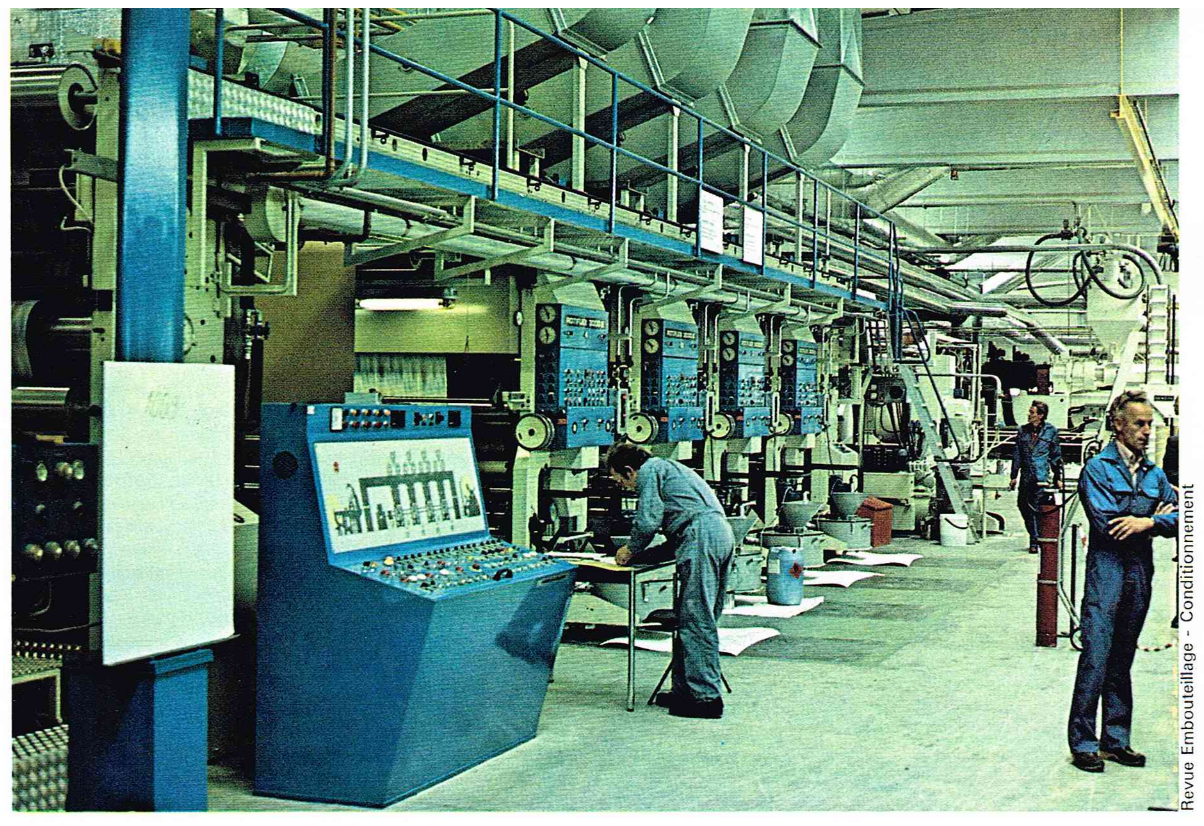
Autre élément qui intéresse le consommateur, mais au niveau de la consommation ou de l'utilisation du produit : le service rendu par l'emballage. Est-il facile à ranger ? Est-il facile à ouvrir ? Peut-on le refermer ? Répond-il à l'utilisation que l'on veut en faire : pique-nique, repas à la maison, repas en collectivités, etc. ?

Enfin la question de l'environnement peut intervenir aussi, le consommateur étant beaucoup plus sensibilisé aujourd'hui aux problèmes des déchets de consommation.

Le consommateur a également ses habitudes, qui changent périodiquement sous l'effet de facteurs variés. On conditionne les pâtes sous papier jaune, car cela rappelle le jaune d'œuf, et partant, la fabrication artisanale de ce produit. On ne concevait pas le sirop de menthe autrement que vert ou le sirop de fraise que rouge. Aujourd'hui, c'est la mode des produits sans colorants... Les modes de vie changent.

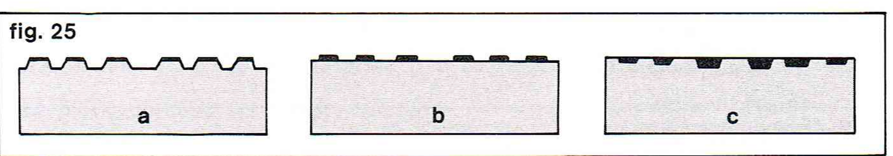
La présentation plus ou moins luxueuse influe sur le choix au niveau du linéaire, de même que la figure imprimée représentant le contenu, car le consommateur aime « voir » ce qu'il achète, même si l'impression reprend un dessin imitant la réalité, souvent même en la perfectionnant. La quantité de produit induit une réaction tendant à donner une idée de consistance à l'acheteur. Nous pourrions donner encore de nombreux exemples montrant à quel point le consommateur tend à acheter en fonction de stimuli induits par l'emballage.

Voyons maintenant les techniques qui permettent de personnaliser un produit.




◀ *Imprimeuse flexo à 4 postes permettant la réalisation simultanée d'emballages différents, textes et décors.*

▼ *Figure 25 : éléments imprimants ; a, typo : éléments imprimants en relief ; b, offset : éléments imprimants et non imprimants sur le même plan ; c, hélio : éléments imprimants creux proportionnels à l'intensité.*




## De l'emballage au conditionnement : les techniques de mise en œuvre

Impression directe du contenant, habillage de celui-ci, telles sont les deux techniques principales qui permettent de donner à l'emballage cette touche subjective qui fait de lui un conditionnement.

### L'impression directe du contenant

Cette impression se fait avant arrivée à l'atelier de conditionnement, directement sur le matériau : pour les boîtes de métal, sur la feuille de métal avant qu'elle soit découpée ; pour le carton plat destiné aux emballages de groupements sur machine, directement à partir du rouleau avec réalisation ultérieure des découpes ; cependant que, pour le carton ondulé, l'impression se fait ordinairement sur la découpe préréalisée. Une technique nouvelle imprime le papier de couverture en rouleau avant son assemblage sur le train d'ondulage. Les complexes sont également imprimés directement à partir du rouleau sur le carton avant enduction de polyéthylène chez certains fabricants, sur le polyéthylène externe pour d'autres. La technique d'impression peut être de trois types : typographie, flexographie, offset ou héliographie (*fig.* 25).

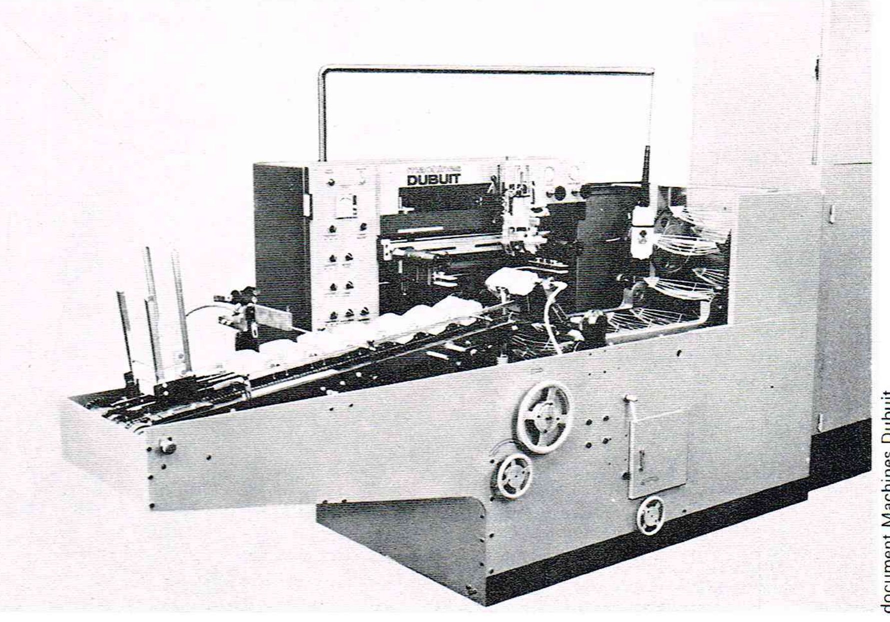
La **typographie** et la **flexographie** utilisent un matériau (plomb, caoutchouc ou plastique) gravé à l'envers. La forme en relief ainsi obtenue, appelée cliché, est enduite d'encre et reportée sur le matériau à imprimer.

L'**offset** utilise une plaque traitée différentiellement en zones prenant l'encre et en zones ne prenant pas l'encre. Les premières correspondent aux caractères devant être imprimés. La plaque offset est obtenue par report de la plaque à imprimer sur une plaque métallique en zinc, en aluminium, le plus souvent composée de plusieurs métaux. La technique transfert est la photogravure. Portant l'image à l'endroit, cette plaque sera cintrée sur un cylindre, mouillée, puis encrée à chaque tour. Les zones encrées seront transmises au papier par un cylindre intermédiaire appelé blanchet.

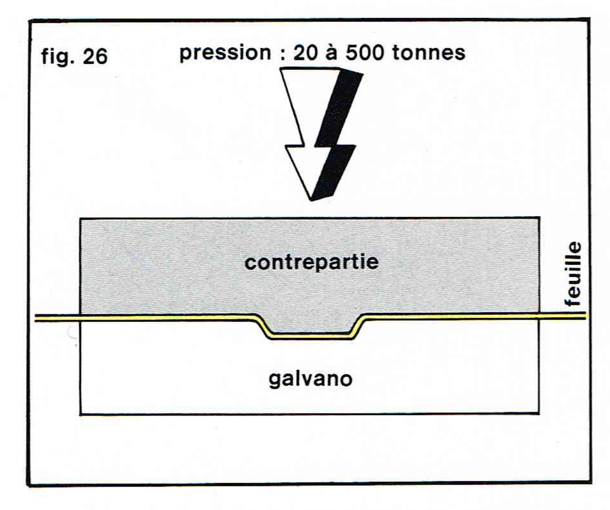
Dans l'**héliographie,** l'impression des plaques se fait en creux par un procédé photomécanique. Cette technique permet d'obtenir en une fois une application d'encre d'épaisseur variable. On obtient ainsi toutes les nuances de l'original, la plus grande intensité d'impression correspondant aux creux les plus profonds. On obtient la forme d'impression par gravure chimique à travers une réserve obtenue par voie photographique soit d'un cylindre de cuivre, soit d'une plaque en cuivre ajustée ensuite sur un cylindre. La copie s'opère sous positif, puisque les éléments imprimants sont en creux.
Le principe de la machine est le suivant : le cylindre « gravé » tourne, partiellement immergé, dans un bac d'encre assez volatile. Celle-ci ruisselle sur les blancs et remplit les creux. Une lame d'acier souple, la racle ou le « docteur », essuie le cylindre. Le papier, en bobine ou en feuilles, est pressé par un autre cylindre habillé de caoutchouc et reçoit une épaisseur d'encre variable. Il est ensuite séché.
Cette dernière technique donne de loin les meilleurs résultats, mais elle coûte plus cher que l'offset et, surtout, que la typographie. Elle ne devient valable que pour de grandes productions ou pour des productions dans lesquelles le rendu des couleurs et des détails est primordial.

La **reproduction des couleurs** peut se faire par les trois techniques. On les décompose suivant les composantes fondamentales (rouge, bleu, jaune), et on réalise autant de clichés ou autant de plaques qu'il y a de couleurs. Avec la couleur noire et la couleur or, on travaille généralement en cinq temps d'impression. Les couleurs doivent, bien entendu, être repérées les unes par rapport aux autres.

▼ *Impression de contenants plastiques par sérigraphie.*



▶ *Figure 26 : principe du gaufrage.*




Les feuilles métalliques destinées à la fabrication des capsules peuvent aussi être réalisées par l'une de ces techniques, mais il faut concevoir le décor et le graphisme en tenant compte de la déformation que fera subir au métal l'opération d'emboutissage. Cette méthode est toutefois inapplicable dans le cas des capsules à jupes longues. Il faut alors faire appel à une méthode par report ou à la **sérigraphie**. Cette dernière technique, appelée aussi impression à l'écran de soie, est très utilisée pour la décoration des bouteilles plastiques. Elle utilise une toile tendue sur un cadre appuyé sur le support à imprimer. L'encre déposée sur cet écran est poussée par une racle et passe à travers les mailles libres. A la sortie de l'appareil, un four sèche le contenant.

Dernière technique apparentée aux précédentes, car elle personnalise le contenant : le **gaufrage** des matériaux; mais il ne s'agit pas d'impression au sens propre du terme. On fait subir au matériau un traitement mécanique visant à lui donner un relief, la feuille est pressée entre une forme en creux (galvano) et une forme en relief (contrepartie) [*fig.* 26]. De telles techniques sont utilisées pour les capsules et surcapsules (en tête et sur la jupe), pour les aérosols, sur les étiquettes, etc.

▼ *Figure 27 : schéma de principe du staniolage (d'après document Baele-Gangloff).*

### *Habillage du contenant*

Il s'agit de la pose de surcapsules, de stanioles ou d'étiquettes, pour ce qui concerne les contenants destinés aux liquides que nous étudions plus particulièrement dans ce chapitre.

La **pose des surcapsules** utilise un distributeur de capsules suivi d'un matériel d'adaptation sur le col de la bouteille : plongeur permettant le simple enfoncement de la capsule dans certains cas. Les capsules en matières plastiques sont ouvertes par des crochets, cependant que la bouteille pénètre à l'intérieur. Les crochets se retirent ensuite. Pour les capsules en aluminium ou en plomb-étain, le sertissage sur le col s'effectue par lissage du métal sur le col du contenant au moyen d'une tête centrifuge à molettes en caoutchouc rappelant les têtes utilisées pour le sertissage des capsules métalliques sur les bagues à vis.

Les **stanioles** sont délivrées par bandes à partir de rouleaux de papier aluminium. Encollées, elles sont déposées sur le col de la bouteille et drapées sur celui-ci.
Le principe de la stanioleuse est schématisé *figure* 27. La bobine d'aluminium **1** est placée sur un axe à la partie supérieure du poste. La feuille est engagée entre deux couples de rouleaux caoutchouc **2** et **4** qui la font progresser en continu. Entre ces deux couples de rouleaux, est placé un bras de tension mobile **3** qui, au moment de la découpe **5**, tire la feuille d'aluminium, immobilisant ainsi les rouleaux inférieurs **4** entraînés par friction et absorbant le surplus d'aluminium déroulé pendant le temps nécessaire à la découpe. Après cette opération le bras de tension revient en arrière, libérant ainsi le surplus d'aluminium qu'il avait absorbé. La découpe de la feuille d'aluminium par le couteau **5** est commandée par deux cames fonctionnant dans un bain d'huile. La longueur de la staniole est déterminée par la vitesse de rotation des rouleaux d'entraînement, qu'il est possible de modifier en changeant le rapport des pignons de commande. Après sa découpe, chaque staniole est réceptionnée, puis maintenue par des plaques **6** munies de ventouses d'aspiration. Ces plaques conduisent les découpes d'aluminium vers un cylindre de reprise à pinces **7** qui les reprendra et viendra les déposer sur le col de la bouteille. Pendant ce transport, la feuille d'aluminium passe contre un rouleau encolleur **8** alimenté en continu par une pompe qui dépose les bandes horizontales de colle sur toute la surface de la feuille. Lors de l'apposition sur la bouteille **9**, la feuille d'aluminium est fermement pressée sur le col qui s'enfonce légèrement dans des tampons de caoutchouc mousse. La bouteille passe ensuite dans une rampe assurant son enroulement autour du col, ainsi que son lissage, par deux pivotements successifs **10** et **11**, un tour complet assurant un lissage plus poussé autour du goulot. La staniole est alors rabattue sur le bouchon par des galets **12**, puis éventuellement lissée par une brosse **13**.

Les **étiquettes** livrées en paquets de mille sont déposées sur les récipients par une machine appelée étiqueteuse. Ce matériel peut utiliser des étiquettes autocollantes ou non. Les premières, qui se développent actuellement sur le marché, sont encore d'un prix de revient relativement élevé qui les limite aux produits à forte valeur marchande et à étiquetage simple. Les matériels sont en ligne, et, au passage de l'emballage, l'éti-

quette se trouve décollée de son support papier et est transférée sur l'objet à étiqueter. Toutefois, les cadences réalisées sont relativement faibles, et la pose de l'étiquette n'est pas toujours absolument parfaite.

Avec les étiqueteuses traditionnelles, les étiquettes sont prises par « palettes » préalablement encollées, transmises à un cylindre rotatif qui les dépose sur l'objet à habiller. Au cours de ce transfert, les étiquettes sont saisies soit par aspiration, soit par des pinces montées sur le cylindre transfert. Les étiquettes sont ensuite lissées par courroies, brosses ou éponges. L'étiqueteuse peut être conçue « en ligne » ou « rotative » (*fig.* 28). Dans le premier cas, l'emballage traverse la machine suivant une ligne droite, et le lissage est réalisé par deux courroies à vitesse différentes entraînant la rotation du contenant, ce qui applique l'étiquette sur sa surface. Dans l'autre version, la bouteille entre sur un carrousel. Une tête la maintient fermement et lui impose des mouvements de rotation à certains moments. Durant son passage sur le carrousel, l'emballage reçoit son étiquette ou ses étiquettes (car il est possible d'en positionner plusieurs simultanément ou successivement). Le lissage se fait aussi sur le carrousel. A noter que, le mouvement des récipients étant totalement commandé, cette technique garantit une présentation parfaite du conditionnement : centrage des étiquettes; position des étiquettes, collerettes, contre-étiquettes les unes par rapport aux autres. On peut repérer le contenant muni d'un ergot, d'une encoche pour unifier la présentation et centrer les décors, les surbouchages luxueux par rapport à une génératrice définie.

Signalons que l'opération d'étiquetage au niveau des cadences industrielles demande des conditions opératoires bien étudiées, des matériels en parfait état et des accessoires d'étiquetage (colle et étiquettes) bien choisis. L'étiqueteuse est un matériel très sensible, et la moindre saleté gêne considérablement son bon fonctionnement. Suivant le matériau d'emballage, les conditions de l'étiquetage (bouteilles chaudes ou froides, mouillées ou non), le devenir du produit et sa destination (pôle Nord ou pays équatoriaux), la nature des étiquettes (papier, aluminium, complexe), le système d'encollage et la température d'encollage, l'industriel dispose d'une vaste gamme de colles parmi lesquelles il devra choisir celle qui est la plus adaptée à son cas particulier. Autres questions importantes à ce niveau : l'emballage devra-t-il être réutilisé ou non? faudra-t-il décoller ultérieurement les étiquettes? Si oui (cas des bouteilles consignées), il faut utiliser une colle qui se dissolve bien dans les produits lessiviels utilisés afin d'éviter un encrassement des laveuses par du papier en bouillie.

Quant au papier des étiquettes, il doit être coupé dans le bon sens (les fibres dans le sens de la largeur de l'étiquette). Dans le cas contraire, elles tiennent mal, et finissent par se décoller totalement.

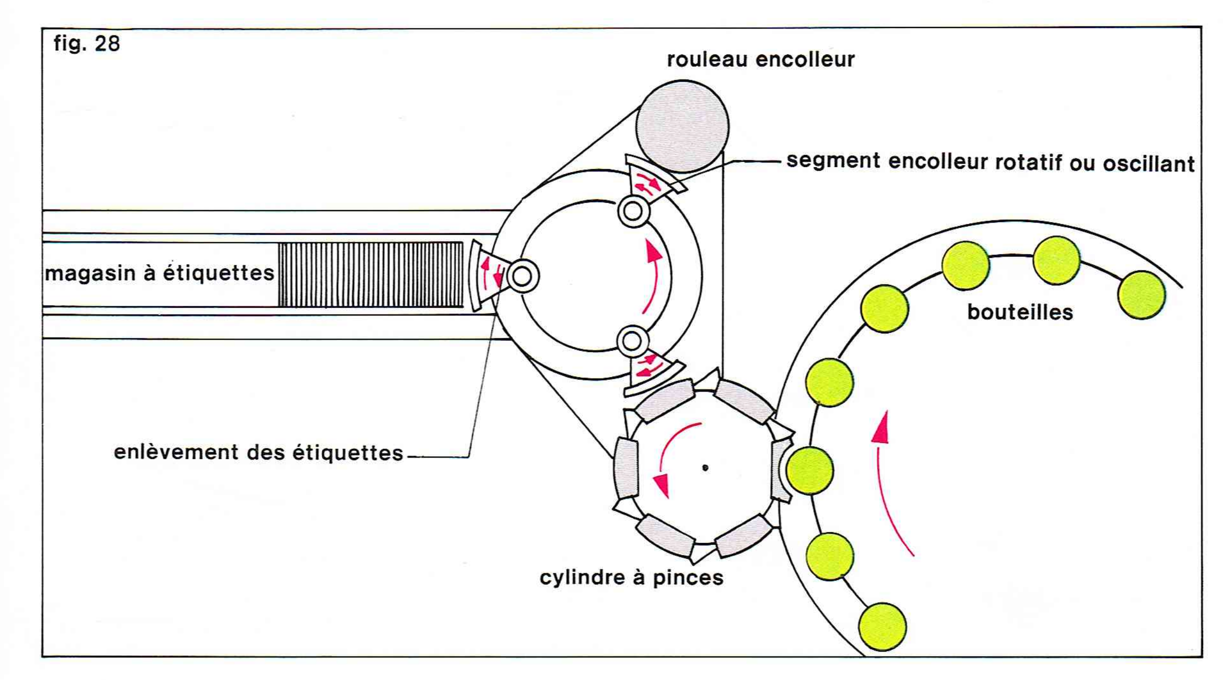
Revue Embouteillage - Conditionnement

▲ *Étiqueteuse rotative à un poste appliquant simultanément l'étiquette de corps et l'étiquette d'épaule.*

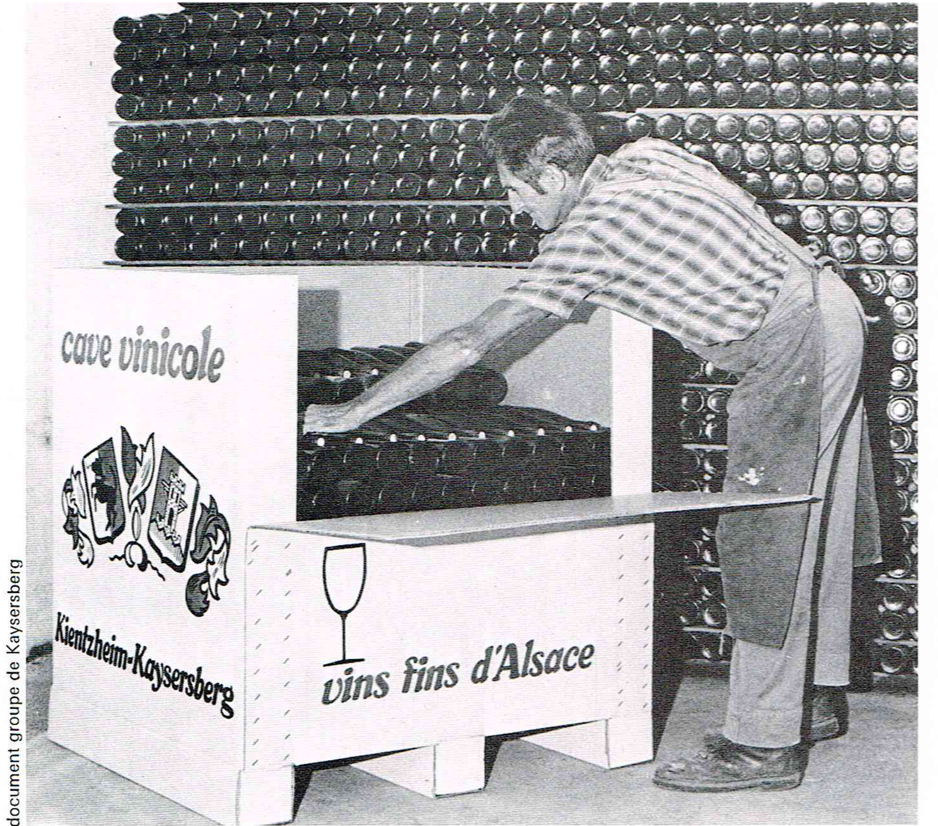
## *Conditionnement et information du consommateur*

Parmi les informations que le conditionnement transmet au consommateur, certaines sont d'ordre légal; d'autres sont des compléments que le fabricant estime souhaitables pour une meilleure jouissance du produit qu'il conditionne.

Les informations obligatoires concernent la désignation précise du produit, le nom du fabricant ainsi que son adresse, celui du conditionneur et son adresse, s'il est différent du précédent, la quantité contenue en volume ou en poids, des mentions légales, pour certains produits tels que les eaux de source, « Autorisation préfectorale du... », « Autorisation du ministère de la Santé publique du... », la composition pour les produits préemballés (y compris les additifs et les colorants), la date de péremption s'il s'agit de denrées périssables, des informations concernant les conditions normales d'utilisation du produit. « Après ouverture, à conserver au froid et à consommer rapidement » (mention obligatoire pour le lait stérilisé ou le lait stérilisé UHT), etc. Pour certains produits, des textes prévoient des mentions obli-




◀ *Figure 28 : détails du mécanisme d'une étiqueteuse.*




document groupe de Kaysersberg

▲ *Très facilement remis à plat après usage, cet emballage perdu en carton ondulé est recyclable.*

gatoires ou une couleur spécifique. C'est le cas notamment de tous ceux qui renferment des substances vénéneuses : articles d'entretien, cosmétiques, produits de jardinage, etc. C'est ainsi que le contenant de certains produits d'entretien doit être totalement entouré d'une bande verte portant en lettres noires très apparentes le mot « dangereux ».

Conscients de l'importance du dialogue qui se noue avec la clientèle par le biais de l'emballage et afin de lui donner un cadre reproductible, les industriels français ont décidé d'apporter leur concours aux consommateurs en participant à la définition d'étiquettes informatives dans le cadre de l'Association française pour l'étiquetage informatif (AFEI). Celle-ci constitue un cadre librement offert aux producteurs, consommateurs ou distributeurs permettant de mentionner toutes les performances et informations résultant d'un accord entre les deux partenaires avec contrôle, *a posteriori*, de l'exécution de décisions prises en commun.

## L'emballage source de déchets et d'énergie

Qu'il soit consigné ou non, l'emballage finit un jour sa vie d'accessoire du conditionnement. Que devient-il ? Apparemment, et c'est ainsi que nombre de consommateurs voient la chose, l'emballage devient un déchet, un rebut sans intérêt que l'on jette. On ne sait pas très bien ce qui se passe au-delà de la poubelle, de la décharge, et cela n'a guère d'importance. Voilà une attitude fort négative.

Le consommateur a été sensibilisé ces derniers temps à l'impact de l'environnement sur sa vie, mais a-t-il réellement vu la totalité du problème ? Certainement pas ! On crie haro sur les industries qui polluent et qui perturbent notre cadre de vie. On a raison ! Mais il est curieux de constater que ceux qui crient le plus fort sont souvent ceux-là mêmes qui jettent l'enveloppe d'un bonbon ou un mégot de cigarette sur le trottoir ou encore abandonnent boîtes de conserve et papiers gras sur un lieu de pique-nique, exemples de tous les emballages dont on s'est « débarrassé ». En fait, il faut ramener le problème à ses justes dimensions et constater que ces faits relèvent davantage d'un manque de civisme et de correction que de la nature des emballages à polluer.

En matière de déchets, il convient également de distinguer entre les déchets industriels provenant de la fabrication des emballages et les déchets de consommation repris au niveau des collectes d'ordures. Les déchets industriels sont immédiatement récupérés et recyclés, parfois sur place (granulation d'une bouteille plastique non conforme et utilisation des granulés « mélangés » au compound neuf). Le verre est réutilisé immédiatement en verrerie et stocké dans les industries de l'emballage en vue d'un retour à la verrerie la plus proche. Les déchets de fer-blanc sont désétamés et réutilisés aussitôt en sidérurgie avec, corrélativement, une récupération non négligeable d'étain. Il en est de même pour l'aluminium, pour les papiers et cartons réincorporés au niveau de la fabrication de pâte à papier.

En France, le volume des ordures ménagères aura été en 1977 de quelque 14 millions de tonnes sur lesquelles les emballages ont une part de 45 % (soit environ 5,3 tonnes), qui se décompose ainsi :
— matières plastiques : 5 % ;
— papier-carton : 20 % ;
— bois : 6 % ;
— métal : 5 % ;
— autres matériaux : 3 %.

Ces ordures ménagères peuvent être traitées de diverses façons : 32 % sont incinérées et libèrent une énergie calorifique ou électrique pouvant être utilisée par la suite (c'est ainsi que l'on peut dire que les ordures ménagères de dix habitants peuvent chauffer un habitant et lui donner de l'eau chaude toute l'année) ; 12 % subissent un traitement de compostage et de broyage ; le reste, soit 48 %, est mis à la décharge. Il est dommage de se priver des possibilités de réutilisation du matériau qu'offrent les emballages. Le verre récupéré, ou calcin, favorise la fusion dans les fours de verreries en diminuant la température requise, ce qui se traduit par un gain en matière et en énergie.

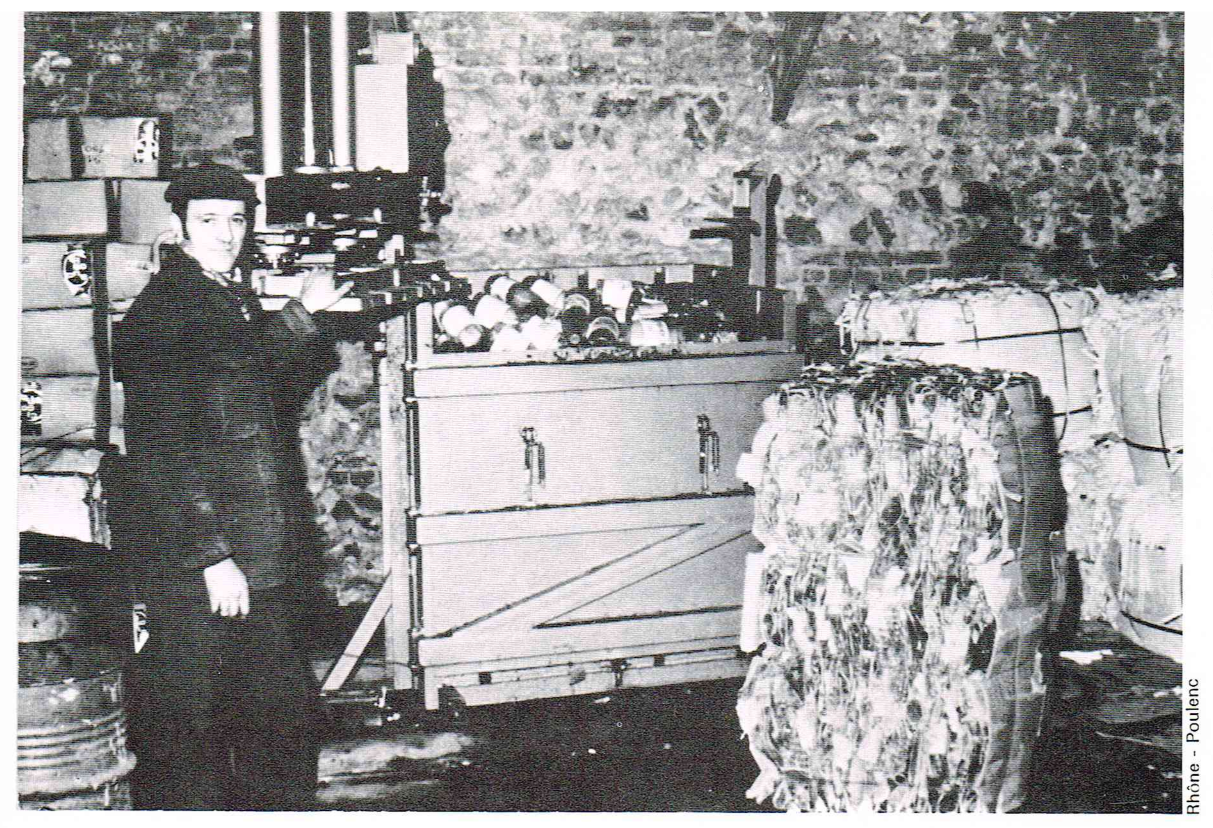
Pour les matières plastiques, et notamment pour le PVC, des études et des recherches récentes ont permis de chiffrer le coût global de vie d'une tonne de compound PVC utilisé pour la fabrication de bouteilles jusqu'à sa destruction par incinération : 17 027 thermies. Si l'on régénère le PVC (rendement de l'opération : 89,7 %), on conserve un potentiel énergétique important de 14 419 thermies. En tenant compte des besoins énergétiques pour cette régénération (1 251 thermies), c'est 82 % de l'énergie dépensée pour la fabrication du compound d'origine qui a été récupérée.

Ce bilan positif a incité les industriels à rechercher des utilisations possibles à cette matière régénérée. La législation excluant son usage en tant que contenant pour des produits alimentaires, on s'est orienté vers des objets finis présentant un caractère d'utilité et de pérennité, objets d'une valeur aussi élevée que possible, pour per-



Revue Embouteillage - Conditionnement

▶ *Ces bouteilles primées au niveau européen ont été réalisées avec 80 % de verre recyclé non trié.*



Rhône - Poulenc

◀ *Après collecte sélective, les emballages sont compactés par types de matériaux; ici, papiers-cartons et récipients plastiques.*

mettre certaines dépenses au niveau de la récupération et du traitement. Il ne faut pas, en outre, que ces objets viennent à se substituer à d'autres actuellement réalisés à partir de matières et matériaux disponibles en France, mais il serait souhaitable au contraire qu'ils puissent prendre la place de produits ayant un fort impact sur la balance des paiements. Pour ces raisons, le choix s'est fixé sur les tuyaux et les gaines plus particulièrement utilisés pour le passage des câbles, l'évacuation des eaux, l'assainissement et le drainage. Ce sont des marchés à forte croissance (+ 20 % annuellement) qui représentent plus de 100 000 tonnes par an.

Ce taux de recyclage des matériaux d'emballage est actuellement le suivant :

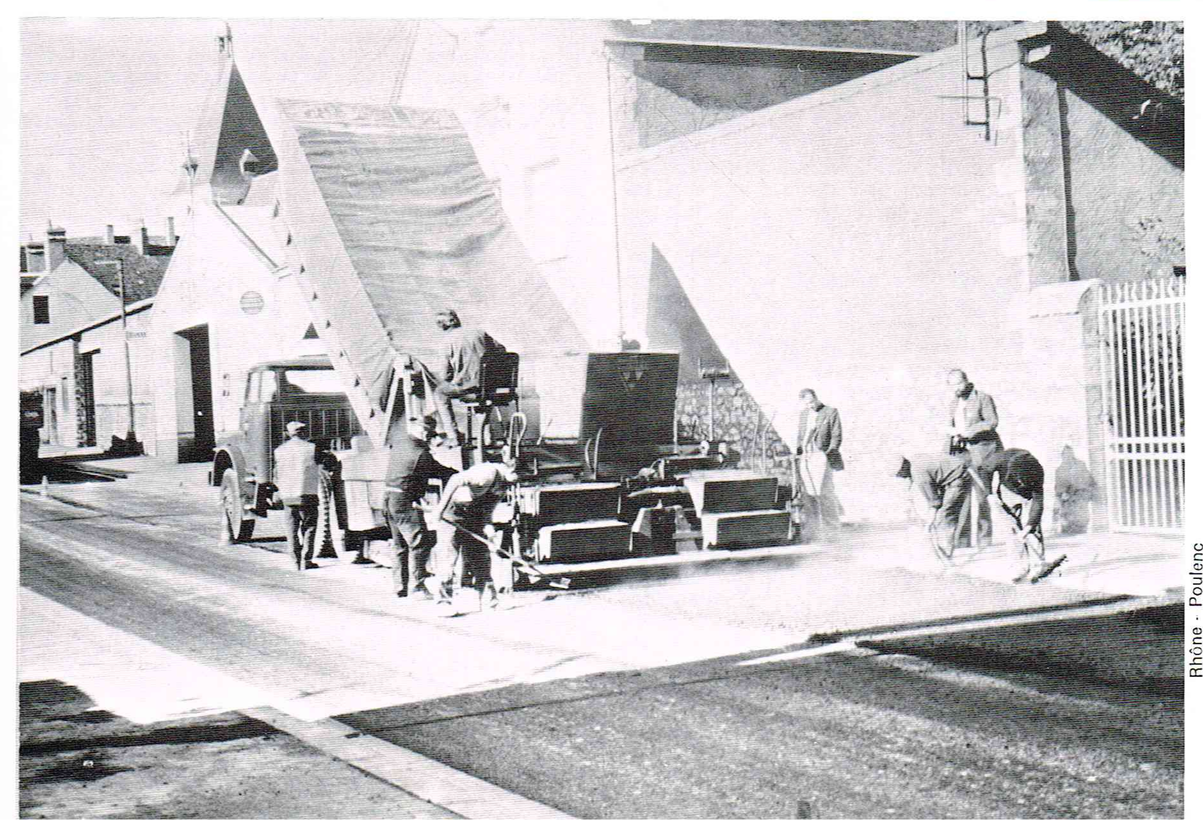
— métal (essentiellement fer-blanc) : 60 %;
— verre : 38 à 40 %;
— papiers-cartons : 40 %;
— matériaux plastiques (essentiellement PE, PS, PVC) : 15 à 17 %.

Ces chiffres ne sont pas négligeables, et l'on s'étonne de cet engouement soudain pour le recyclage des matériaux. Depuis longtemps, l'industrie revend ses déchets d'emballage, mais le gaspillage demeurait au niveau des déchets ménagers. Mis à part le compostage dont le bilan n'était pas négatif, puisqu'il apporte à l'agriculture



Revue Embouteillage - Conditionnement

◀ *Les panneaux de particules de ce type utilisent, pour leur réalisation, des déchets d'emballages à base de complexes-cartons.*



Rhône - Poulenc

◀ *Les déchets de PVC entrent dans la composition du revêtement mis en œuvre sur nos routes.*

des engrais, la décharge, contrôlée ou non, et l'incinération étaient les solutions principales. On récupérait le métal, car son tri ne pose pas de gros problèmes, mais il n'en était pas question pour les autres matériaux, notamment le verre et le plastique.

C'est en 1971 que, pour la première fois, l'association « Progrès et Environnement » mit sur pied une opération « Vacances propres » dans dix-huit villes françaises, mais ce n'est qu'en 1974 que le but fut la récupération des emballages perdus en vue du recyclage des matériaux. On demanda aux ménagères de mettre de côté les emballages en papier-carton, plastique et métal. Un ramassage était organisé en plus des ramassages normaux. Puis on remplaça un des ramassages quotidiens par un ramassage des seuls emballages.

Des villes telles que Le Havre, Villefranche-sur-Saône et Lyon devaient prouver que les municipalités y trouvaient leur compte dès lors que l'infrastructure était en place. Les collectes concernent soit le verre et le plastique, soit le verre, le plastique et le métal. On peut penser que ces expériences, qui sont passées à l'état d'habitudes dans de nombreuses villes, continueront à se développer au cours des prochaines années sur une grande partie du territoire français.

De nombreuses recherches continuent à être faites par l'industrie à la demande des pouvoirs publics. On est parfois arrivé à de curieuses utilisations des matériaux d'emballage. C'est ainsi que la Société chimique et routière d'entreprises générales, la SCREG, avec l'appui du groupe Rhône-Poulenc, a mis au point un nouveau revêtement routier à base de goudron de houille (remplaçant le bitume). L'addition de PVC à ce revêtement permet des performances remarquables et des économies substantielles. Des réalisations existent dans le réseau routier français et sont très satisfaisantes. Par ailleurs, le groupe norvégien Elopak a conçu une utilisation du déchet complexe dans lequel sont conditionnés le lait et certaines boissons aux fruits : la production de panneaux de particules, similaires aux panneaux en bois, utilisables par les entreprises de construction.

## *Emballages et conditionnements : législation et réglementation*

Législation et réglementation concernant les emballages et conditionnements sont actuellement très mouvantes. Elles s'affinent mois après mois, non plus au niveau national, mais à l'échelon européen. On demande au conditionnement d'apporter une information loyale, précise, complète et compréhensible. Loyale, car une information approximative ou déformée induit le consommateur en erreur; précise, donc indiquant non seulement les prix, mais tous les éléments indispensables à la formation du jugement; complète, en spécifiant les bonnes conditions d'utilisation du produit, les règles d'entretien à respecter; compréhensible, donc rédigée en langage accessible à tous.

La loi du 1er août 1905 sur la répression des fraudes reconnaît, dans son article II, le droit pour l'acheteur d'avoir des renseignements suffisants à sa disposition, puisqu'il stipule notamment qu'il devra être statué par des règlements d'administration publique sur les mesures à prendre en ce qui concerne « les inscriptions et marques indiquant soit la composition, soit l'origine des marchandises que, dans l'intérêt des acheteurs, il y a lieu d'exiger sur les factures, sur les emballages, sur les marchandises elles-mêmes, à titre de garantie de la part des vendeurs, les indications extérieures ou apparentes, le mode de présentation, nécessaires pour assurer la loyauté de la vente et de la mise en vente, ainsi que les marques spéciales qui pourraient être apposées facultativement ou rendues obligatoires sur les marchandises françaises exportées à l'étranger ».

En 1972, un décret a généralisé l'indication, sur les étiquettes des produits alimentaires préemballés, d'un certain nombre de mentions telles que poids ou volume, composition (avec détail des additifs et colorants), nom du producteur ou du conditionneur (à qui on peut s'adresser en cas de contestation), dates de péremption (s'il s'agit de denrées périssables), etc. Depuis l'arrêté du 16 septembre 1971, l'indication du prix de tous les produits et services offerts aux consommateurs doit être réalisée par étiquette, écriteau ou affiche. Un autre arrêté, du 20 septembre 1973 celui-là, prévoit que pour certaines denrées préemballées habituellement vendues en vrac (viande, charcuterie, fruits et légumes, etc.), l'étiquette devra porter, outre le prix et le poids, le prix au kilo.

Lors d'une récente journée d'étude et de concertation organisée par l'Institut français de l'emballage et du conditionnement, l'IFEC, M. Souverain, inspecteur général au Service de la répression des fraudes et du contrôle de la qualité, a fait le point sur la situation réglementaire européenne en ce qui concerne le secteur de l'emballage. Une réglementation se met peu à peu en place, dont devront s'inspirer ultérieurement les législations nationales. Dès la fin de 1976, une directive cadre était adoptée à ce sujet par le Conseil des Communautés. Elle donne les grandes lignes de ce que devra être la réglementation afférant à la compatibilité contenant-contenu dans le secteur privilégié du conditionnement alimentaire. Ces matériaux et objets au contact des denrées alimentaires ne doivent présenter aucun danger pour la santé humaine ni entraîner une modification inacceptable de la composition des denrées. Cette loi-cadre annonce des directives spécifiques pour chaque matériau, dont une seule a été promulguée à ce jour : celle qui concerne les matières plastiques et qui doit entrer en vigueur en mai 1978. Ces directives spécifiques doivent comporter notamment :

— si possible et si nécessaire, la liste des substances et matières dont l'emploi est autorisé à l'exclusion de toutes autres;

— les critères de pureté de ces substances et matières;

— les conditions particulières d'emploi de ces substances et matières et/ou matériaux et objets dans lesquels ces substances et matières ont été utilisées;

— des limites spécifiques de migration de certains constituants ou groupes de constituants dans ou sur les denrées alimentaires;

— une limite globale de migration des constituants dans ou sur les denrées alimentaires;

— si nécessaire, des prescriptions visant à protéger la santé humaine des risques éventuels pouvant résulter d'un contact buccal avec des matériaux et objets;

— d'autres prescriptions permettant d'assurer le respect des dispositions de la directive générale;

— les règles de base nécessaires à la vérification du respect des dispositions précédemment édictées.

Pour les matières plastiques au contact des denrées alimentaires, si la liste positive des matières et substances admises est d'ores et déjà dressée, à l'heure où nous rédigeons ce document, les limites de migration totale et de migrations spécifiques n'ont pas encore été définies.

La Communauté européenne a aussi abordé le service de l'environnement et de la protection des consommateurs avec l'élaboration d'un projet de directive qui rejoint les prescriptions des textes français, avec, notamment, sur les préemballages, le prix à l'unité de mesure, et elle s'intéresse maintenant à l'élimination des déchets et aux économies de matières premières.

Côté quantitatif, la protection du consommateur passe aussi par le respect des volumes délivrés en préemballages, ce qui a été traité par des directives en décembre 1974 et janvier 1976. On a notamment limité le choix des volumes possibles pour les préemballages et défini la valeur nominale des préemballages par le volume effectivement contenu. La notion de volume ras-bord qui avait cours en France auparavant a été abandonnée. Une marque de conformité doit être portée sur le préemballage sous la forme d'un « epsilon renversé ». Les méthodes de contrôle du volume contenu par ces préemballages ont aussi été définies.

Dans le détail des directives en préparation, nous pourrions encore développer de nombreux points de réglementation, mais tous visent à parvenir à un consensus entre les partenaires (industriel; distributeur; consommateurs; pouvoirs publics) afin d'assurer la loyauté dans les transactions et les échanges. C'est sur cette constatation, la recherche du développement des échanges par la suppression des entraves liées aux réglementations nationales nécessairement differentes, que nous terminerons notre propos, lequel, partant des richesses naturelles, nous a ramené à celles-ci, puisque l'emballage n'est finalement que l'étape privilégiée d'un cycle naturel orienté par l'homme.

# LE MÉDICAMENT

En général, la notion précise de médicament est mal perçue des non-spécialistes. Il est communément admis qu'un médicament est différent d'un aliment et, bien sûr, d'un poison, encore que cette distinction soit due bien souvent à l'emploi et à la dose. Ainsi, les solutions nutritives administrées par voie parentérale (c'est-à-dire sous forme injectable) à des malades des services de réanimation ne comportent bien souvent que des substances banales, mais leur mode d'administration, leur stérilité obligatoire en font véritablement des médicaments. De même, des substances très actives et donc très toxiques telles que les curares, la morphine, présentées pour un usage médicamenteux, cessent d'être poison ou drogue au sens commun du terme. On voit donc apparaître dans la notion de médicament le *but thérapeutique*, la *présentation* et la *dose*.

Il peut être un produit destiné presque au grand public (certaines formes d'aspirine, laxatifs, dermopharmacie) ou un produit d'usage restreint soumis à prescription médicale. Dans ce cas, son originalité réside dans le fait que la cible publicitaire (le prescripteur) n'est pas le consommateur, encore que celui-ci ne paie pas la totalité du prix grâce aux couvertures sociales (assurance maladie) qui tendent à répartir sur la collectivité les risques individuels.

Le médicament, dans les pays à haut niveau de vie, est soumis à une réglementation toujours plus contraignante et à un contrôle de prix de plus en plus efficace. Cela est dû à une augmentation préoccupante de sa consommation, voire de sa surconsommation, et à l'attention que les pouvoirs publics portent aux dépenses de santé.

## QUESTIONS LIÉES A LA TECHNOLOGIE

### *A quoi sert le médicament ?*

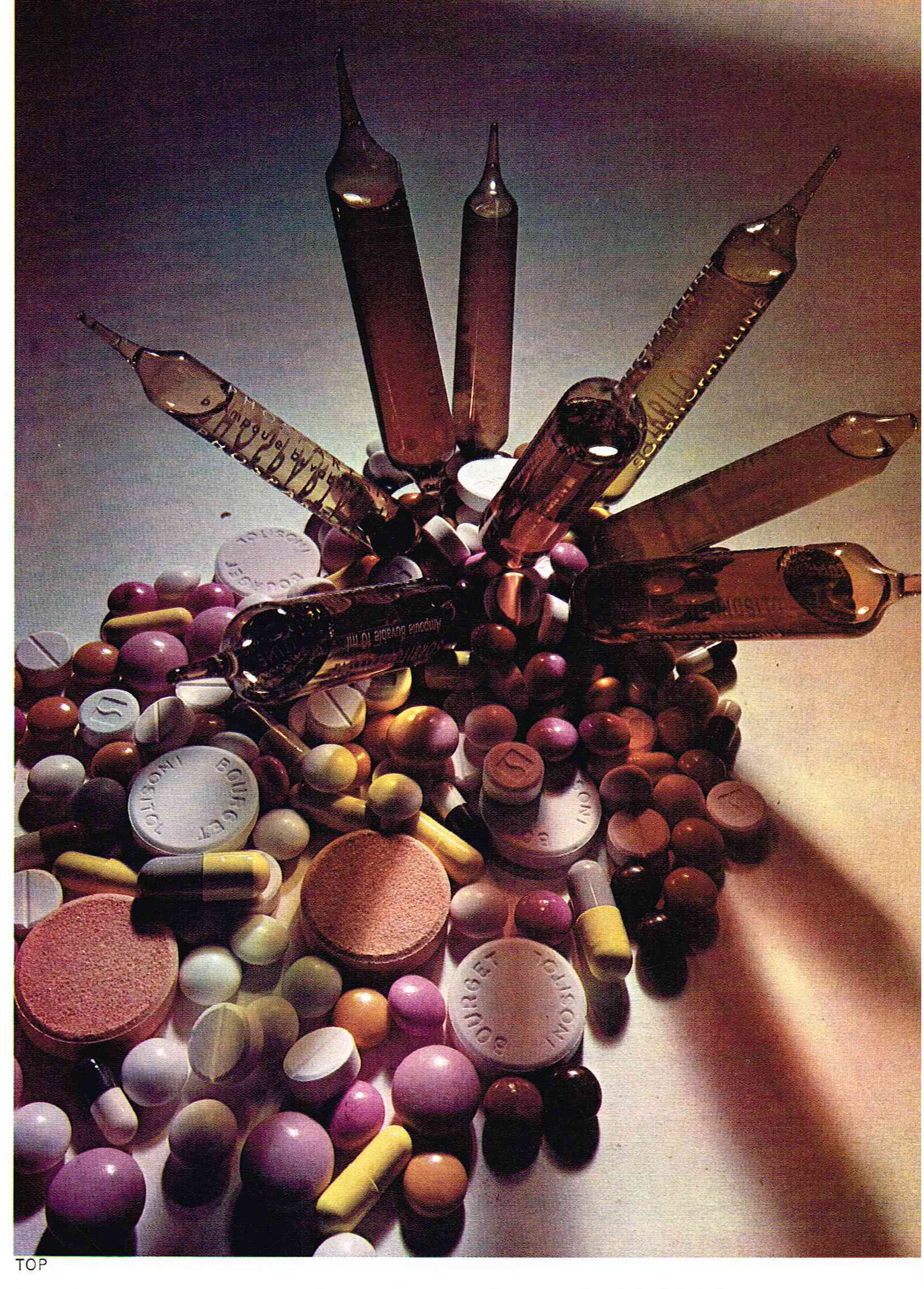
Cette question est en apparence simple, mais nous allons voir que la réponse doit être nuancée. Le médicament sert à soigner les malades, et non les maladies : dans cette optique apparaissent des notions évidentes quand il s'agit de substances antibiotiques, d'insuline, d'anticoagulants. Mais le dernier exemple cité comporte également une notion de *prévention :* il s'agit de prévenir la formation de caillots dans l'organisme. De même, des substances iodées utilisées comme opacifiants radiologiques sont, à juste titre, classées dans les médicaments : ces opacifiants sont souvent injectables, donc stériles, et leur technologie est rigoureusement la même que celle des autres formes injectables. Le médicament apparaît donc parfois comme produit de *diagnostic*.

De la notion de médicament de la douleur on glisse lentement à celle de médicament du *confort*, et on a parlé, d'ailleurs à tort (mais le fait n'est pas dénué de signification), de « pilule du bonheur », savant dosage d'excitant et de tranquillisant.

Il faut également bien admettre que la notion de thérapeutique au sens traditionnel du terme n'a généralement rien à voir avec l'administration de la « pilule » anticonceptionnelle qui, soit dit en passant, n'est pas une pilule mais un comprimé. (Cette incidente illustre bien les limites de la connaissance du grand public en technologie pharmaceutique. Sur le même plan, le « cachet » d'aspirine a depuis bien longtemps cédé la place à un comprimé, mais l'expression subsiste.)

De même, si l'on veut bien garder à l'esprit que le médicament est destiné aux soins des *malades*, il faut également savoir que tout malade présente une composante fonctionnelle et une composante psychologique, ce qui fait que la même maladie peut avoir des manifestations différentes ; même si les altérations objectives sont les mêmes chez deux malades, l'un peut garder une activité professionnelle et l'autre solliciter un arrêt de travail de la part de son médecin. Comment, dans ce cas, ne pas reconnaître que le médicament lui aussi a une composante psychologique énorme ? De nombreux facteurs socioculturels ont une importance primordiale dans l'explication des différences d'habitudes thérapeutiques selon la civilisation que l'on considère. L'un des meilleurs exemples, légèrement en marge, il est vrai, de la notion classique de médicament, est celui des pratiques d'anesthésie en Occident et en Chine. Chez nous, on utilise l'anesthésie générale avec perte de conscience du patient opéré ; ailleurs, l'acupuncture, aidée de l'emploi d'anesthésiques locaux, suffit.

On peut cependant définir le médicament d'après son usage. C'est un produit conçu pour apporter, à l'endroit où il est actif, une substance utile à l'homme (ou à l'animal). Ainsi la pénicilline en sac de cinquante kilogrammes n'est pas un médicament. Mais considérons un flacon stérile contenant une quantité soigneusement déterminée d'un sel soluble de pénicilline, accompagné d'une ampoule de solvant, stérile lui aussi ; le tout supporte un étiquetage précis, un mode d'emploi, avec éventuellement indications et contre-indications : c'est un médicament.




TOP

▲ ***Produit destiné au grand public, le médicament prend des formes et des couleurs attrayantes.***

I.G.D.A. - Rassegna medica

▲ *Mandragore : les propriétés de cette plante ont été décrites par Dioscoride. L'écorce, macérée dans du vin, a des propriétés sédatives.*

## Historique de l'évolution

De tout temps, les hommes ont cherché à se soigner, et les premiers médicaments ont été faits à partir de substances d'origine naturelle : minérale, végétale ou animale. Les démarches intellectuelles utilisées ont été des plus diverses; parfois l'observation jouait un grand rôle, parfois on se fiait à des raisonnements des plus hasardeux :

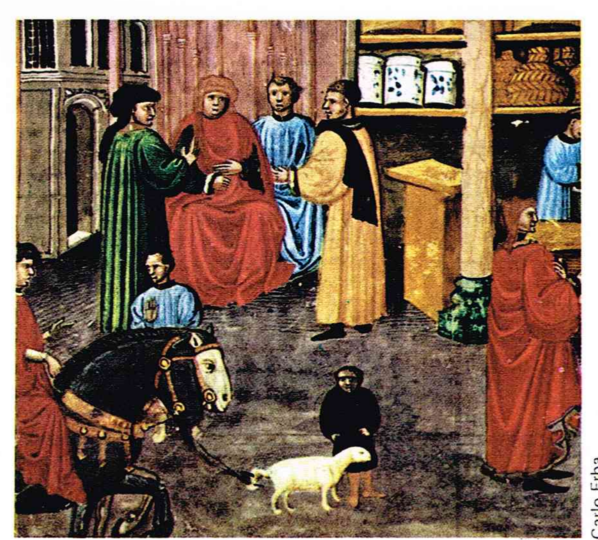
— théorie des « signatures », qui liait l'aspect extérieur de la plante à un rôle thérapeutique éventuel (on peut citer l'usage de plantes rappelant l'aspect des serpents en cas de morsures de ces animaux, et l'aspect du ginseng : encore de nos jours, il sert d'argument publicitaire pour suggérer un pouvoir de régulateur hormonal, voire d'aphrodisiaque) ;

— association de l'amertume au pouvoir fébrifuge (justifiée dans le cas de l'écorce de quinquina utilisée dans le paludisme).

On trouve dans la médecine populaire, chez nous, des restes de cette période, et la thérapeutique moderne a souvent bénéficié de traditions fort anciennes. On doit cependant admettre que les premières thérapeutiques ont été fort hasardeuses et bien peu efficaces, d'où une recherche de procédés mystérieux de préparation qui suppléait, par la composante psychologique, à l'inefficacité biologique. De même, la célèbre thériaque comprenait plusieurs dizaines de composants, heureusement inactifs ou presque.

Les techniques employées étaient simples (préparation de tisanes, d'emplâtres, confection de pilules, de sirops), ou plus complexes (distillation à sec de produits divers). Mais les résultats étaient souvent mauvais, et, par exemple, il a subsisté longtemps la formule d'un sirop dit antiscorbutique qui ne contenait plus de vitamine C.

Mais ce sont le développement de la chimie, de la médecine scientifique et les découvertes technologiques, la seringue et l'aiguille par Pravaz (1853), la compression des poudres et les théories de Pasteur, qui ont fait du XIXe siècle le début de la thérapeutique rationnelle.



Carlo Erba

▶ *Une pharmacie italienne du XVe siècle (miniature d'un manuscrit d'Avicenne, Bologne, bibliothèque universitaire).*

## Développement de la chimie

Les matières premières d'origine naturelle contiennent, à côté des molécules actives, de nombreux composants inutiles ou même nuisibles; ces molécules actives sont en quantités variables selon l'origine géographique, les conditions climatiques, l'époque de la cueillette s'il s'agit de plantes. Il est souvent difficile, dans ces conditions, de standardiser une préparation, d'où l'utilité de la chimie extractive pour isoler les principes actifs, les purifier, les identifier, et les utiliser comme médicament. On peut ainsi citer des cas majeurs dans le règne végétal : hétérosides cardiotoniques, alcaloïdes de l'ergot de seigle, antibiotiques; et dans le règne animal : héparine, insuline, enzymes. La possibilité de doser les principes actifs dans la plante permet ensuite d'améliorer les conditions de recueil, de sélectionner des espèces ou de créer des hybrides particulièrement utiles; c'est, par exemple, le cas des quinquinas producteurs de quinine.

Les progrès de la chimie ne se sont pas limités à l'extraction et à l'identification des molécules intéressantes : de nombreuses synthèses ont permis d'abaisser les coûts de production, et surtout de préparer des dérivés présentant des actions thérapeutiques nouvelles et des effets secondaires moindres. Ainsi l'extraction de la cocaïne des feuilles de coca a-t-elle été suivie de la synthèse d'anesthésiques locaux ne présentant pas l'action de stupéfiants. Des hémisynthèses de pénicillines diverses ont donné des dérivés à spectre antibactérien plus large ou actifs par voie digestive, ou résistants aux enzymes microbiens (les pénicillinases).

De même, des molécules entièrement synthétiques comme les sulfamides, certains anti-inflammatoires ont contribué à augmenter de façon déterminante l'arsenal thérapeutique. Citons enfin la possibilité de synthétiser des dérivés hydrosolubles pour la préparation de formes injectables par voie intraveineuse : anti-inflammatoires, camphre, etc.

## Progrès de la médecine scientifique au XIXe siècle

Notre projet n'est pas de retracer, même grossièrement, l'histoire de la médecine à travers les civilisations. Bornons-nous à remarquer que les médecins de Molière ne pouvaient guère passer pour des esprits rigoureux. C'est un Laënnec, un Claude Bernard, un Pasteur qui, en alliant des dons exceptionnels d'observation à un véritable esprit scientifique, ont permis l'avènement d'une médecine et d'une thérapeutique rationnelles.

Louis Pasteur, en jetant les bases d'une véritable bactériologie, a permis de dégager des notions jusque-là inconnues comme l'asepsie et la stérilité, qui ont permis




F. Arborio Mella



Carlo Erba

◀ *A gauche, couverture d'une pharmacopée rédigée par un médecin allemand. A droite, salle à air ambiant stérile du département de lyophilisation d'un établissement pharmaceutique.*

de concevoir une chirurgie propre, de traverser sans trop de risque la peau des patients.

### Principales découvertes technologiques

Le médicament a bénéficié tout au long de son histoire des progrès de la science et de la technique dans pratiquement tous les domaines. Nous verrons, par exemple, que c'est la technologie de l'électronique et de l'aérospatiale qui a fait évoluer le problème des enceintes stériles. Cependant, deux types de progrès nous semblent déterminants : la découverte de la seringue et de l'aiguille par Pravaz (1853), de l'ampoule par Limousin, permettant, avec les travaux de Pasteur, la pratique de l'injection parentérale; ensuite, la fabrication des comprimés. La première presse fut brevetée en 1843 par l'Anglais Brockedon, et les premières machines furent fabriquées en 1875 aux États-Unis par Remington. Plus récemment, les progrès de la lyophilisation (voir plus loin) et la réalisation de membranes qui sont des filtres bactériologiques fiables ont permis la fabrication industrielle de préparations injectables stériles à partir de substances ne supportant ni l'action de la chaleur ni la conservation en présence d'eau.

### Perspectives d'avenir

Nous avons vu que les progrès de la chimie ont permis d'abord d'isoler, d'identifier, éventuellement de doser des principes actifs dans des substances d'origine naturelle. Parfois, cependant, on dut faire appel à des techniques biologiques pour doser ces principes actifs et déterminer leur pureté. C'est ainsi qu'héparine, insuline, antibiotiques, etc., font encore actuellement appel à des techniques biologiques *in vivo* ou *in vitro* pour leur dosage. Pendant longtemps, et jusqu'aux années 1960, les normes de l'industrie pharmaceutique concernaient le taux de principe actif dans une préparation et sa conservation. On s'est ensuite aperçu, notamment grâce à l'affinement des techniques de chimie analytique et de la radio-immunochimie, des variations importantes du taux du médicament circulant dans l'organisme pour deux préparations en apparence identiques; pire encore, pour une même préparation, deux malades différents pouvaient faire apparaître un devenir métabolique très peu comparable. Une nouvelle science était née, et son nom un peu barbare est « pharmacocinétique ».

Actuellement, chaque principe actif, chaque forme médicamenteuse donne lieu à des études chez l'animal, chez l'homme sain et chez les malades; de nombreuses molécules connues depuis longtemps font l'objet d'une nouvelle formulation, destinée à limiter ainsi les effets secondaires indésirables en augmentant l'activité curative. L'idéal, dans certains cas, serait de prévoir une libération automatisée : on peut, par exemple, imaginer un « pancréas artificiel » libérant de l'insuline selon les besoins grâce à une électrode sensible au taux de glucose circulant. Des études en ce sens ne relèvent pas de la science-fiction, et de nombreuses équipes y travaillent déjà.

De même, la plupart des médicaments introduits dans la circulation générale imprègnent tous les tissus sans distinction. Il serait commode de les guider jusqu'à la cible désignée, ce qui éviterait bien des effets secondaires nocifs. C'est le cas des antitumoraux qui sont toxiques pour tous les organes comportant des cellules se reproduisant très rapidement : moelle osseuse, cellules germinales, etc. Une forme médicamenteuse adressant électivement l'agent actif sur la ou les tumeurs d'un organisme est toujours recherchée.

## Technologie de fabrication

### Principales méthodes de fabrication

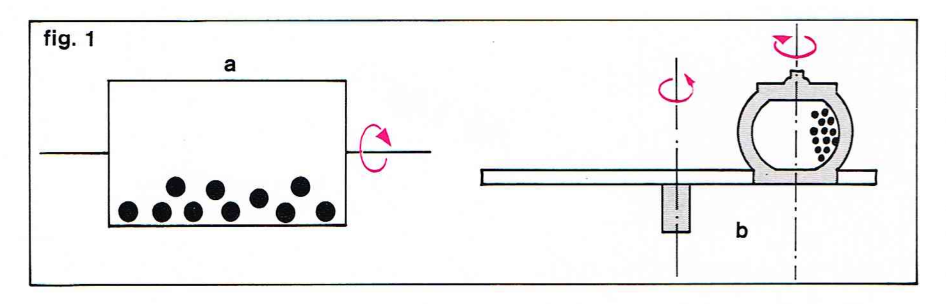
#### Pulvérisation des solides

Les matières premières d'origine naturelle ou synthétique ne se présentent pas, en général, sous une forme directement utilisable. Les solides, par exemple, doivent souvent être pulvérisés, et le but est de préparer un produit de granulométrie donnée. L'idéal serait, bien sûr, d'obtenir des grains de taille uniforme et de dimensions données. L'appareillage diffère selon les caractères physiques du produit à pulvériser (matériau cassant, élastique ou fibreux, teneur en eau, taille des grains, sensibilité à la chaleur) et selon la quantité à traiter.

Les appareils utilisés peuvent être :

★ *Au laboratoire.* Mortiers couverts ou non, porphyres, broyeurs à hélice (du type des moulins à café électriques), tamis ou cribles pour des substances très friables ou des agglomérats, moulins (du type des moulins à poivre). Dans ce cas, on recherche plus la commodité que l'économie d'énergie.

★ *En industrie.* Concasseurs à mâchoires (les mâchoires sont commandées par un excentrique), broyeurs à cylindres tournant en sens inverses et pouvant être cannelés




▲ *Figure 1 : a, broyeur à boulets; b, broyeur planétaire à boulets (d'après A. Le Hir,* **Abrégé de pharmacie galénique,** *Éd. Masson, Paris, 1974).*

ou non, broyeurs à pointes, à marteaux (dans ce cas, l'enceinte contenant le produit à pulvériser sert de tamis; les marteaux sont lancés à très grande vitesse et provoquent des chocs; l'appareil fonctionne en continu), les broyeurs à galets ou à boulets (*fig.* 1) [l'enceinte contenant le matériau à pulvériser renferme des boules de métal ou de porcelaine; la rotation de cette enceinte sur elle-même provoque de très nombreux chocs dont on peut augmenter l'efficacité en disposant le broyeur en excentrique sur une roue tournant à grande vitesse pour les broyeurs de type « planétaire »; on obtient ainsi très rapidement des particules de la taille du micromètre], microniseurs à air comprimé ou broyeurs à jet (c'est l'air comprimé qui, parcourant le matériau, provoque les chocs utiles, et cela sans échauffement de la poudre). Dans certains cas, on est conduit à utiliser des adjuvants de pulvérisation (sels solubles pour le broyage de métaux non cassants; le sel est ensuite éliminé par lavage à l'eau).

### Contrôle granulométrique des poudres

On utilise pour cela des séries de tamis à mailles rigides et bien calibrées, allant de 1,25 mm (poudre grossière) à 125 micromètres (poudre très fine), voire à 50 micromètres. Une poudre officinale ne doit laisser que 5 % de son poids au maximum sur le tamis de module supérieur, et au plus 40 % de son poids doit pouvoir traverser le tamis de module inférieur.

Le microscope équipé d'un micromètre permet d'examiner des particules plus fines, de voir leur forme, leur répartition; cette opération est très utile mais fastidieuse.

Des compteurs électroniques de particules en *suspension* dans une solution d'électrolytes permettent de dénombrer des particules correspondant à un poids donné de poudre : les compteurs de Coulter. Une paroi percée d'un microtrou sépare deux compartiments, renfermant chacun une électrode. La suspension est poussée à travers le microtrou. Chaque particule qui le traverse fait varier le courant électrique circulant entre les deux électrodes, et cela d'autant plus qu'elle est plus volumineuse. Les impulsions en résultant sont dénombrées et peuvent même être classées selon leur taille, permettant d'évaluer la répartition de la granulométrie. Cet appareil sert aussi à dénombrer des particules qui peuvent se trouver dans les solutés (solutions) injectables ou à faire en biologie clinique des numérations globulaires.

Pour des poudres encore plus fines (jusqu'à $10^{-8}$ m), on étudie leur sédimentation au sein d'un liquide parfois sous ultracentrifugation.

En pharmacie, il est souvent capital de maîtriser convenablement une pulvérisation : la granulométrie d'une poudre intervient dans la vitesse de dissolution *in vitro* ou *in vivo* (dans ce dernier cas, l'action thérapeutique en dépend souvent : une poudre trop fine peut donner lieu à une inactivation par le suc gastrique, une poudre trop grossière peut ne pas se dissoudre suffisamment et être inactive). La granulométrie intervient dans l'homogénéité et la stabilité des mélanges de poudres, dans la qualité des comprimés, la stabilité des suspensions, etc.

### *Préparation des mélanges pulvérulents*

De nombreux facteurs interviennent dans cette préparation dont le but est de fournir un mélange aussi homogène que possible : ce sont la granulométrie des composants, leurs densités, leurs proportions. Chaque cas nécessite des études soignées, car il est inconcevable, par exemple, que dix pour cent d'un lot de fabrication renferme soixante pour cent de la quantité totale d'un principe actif.

Dans une officine classique, on utilise le mortier selon des règles bien précises dans le cas où l'un des composants est très minoritaire (par exemple, utilisation d'un colorant servant de témoin); l'industrie a vu se développer de nombreuses formes plus ou moins sophistiquées de mélangeurs dont les mouvements sont étudiés pour une meilleure efficacité : tambours mélangeurs, mélangeurs planétaires, mélangeurs type pétrin, mélangeurs à vis, mélangeurs à projection, etc. Chaque opération est ensuite contrôlée du point de vue de son homogénéité.

### *Dissolution*

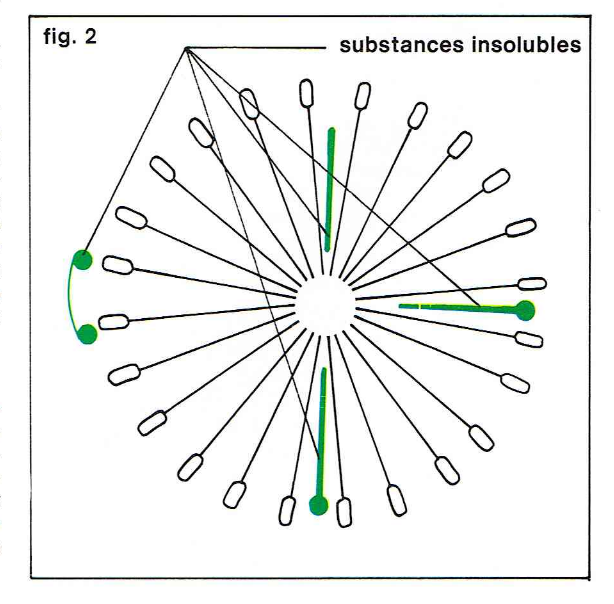
C'est une opération très importante, car de nombreux médicaments sont présentés sous forme de solutés (préparations injectables, sirops, potions, gouttes, collyres, etc.).

Les facteurs intervenant dans la dissolution sont multiples; il convient de bien les connaître. Les principaux concernent la **solubilité** qui dépend de la constitution chimique et de la polarité respective du solvant et du corps dissous. Les solvants polaires (eau, alcool) dissolvent les électrolytes et les corps polaires (alcools, amines, acides), alors que les solvants apolaires (huiles, par exemple) dissolvent les substances apolaires (carbures, molécules lourdes comportant de nombreux cycles aromatiques, vitamines liposolubles, stéroïdes).

La solubilité dépend de la température et beaucoup du pH. Ainsi, les produits possédant une fonction amine sont solubles dans l'eau en milieu acide : c'est le sel qui se forme, et celui-ci est polaire et hydrosoluble. Au contraire, les amines de haut poids moléculaire que sont les alcaloïdes sont très peu solubles dans l'eau en milieu neutre ou alcalin. A l'état de bases, elles se dissolvent au contraire dans les solvants peu polaires : huiles, benzène, éther. Les barbituriques, les phénols, les acides organiques sont solubles en milieu alcalin sous forme de dérivés sodiques.

Enfin, signalons que certaines substances modifient beaucoup l'hydrosolubilité : la caféine se dissout bien en présence de benzoate de sodium, la quinine en présence d'uréthanne. Certains surfactifs permettent d'obtenir des solutions colloïdales micellaires de produits hydrophobes (*fig.* 2). Au contraire, on observe un relargage dû à la diminution de la solubilité (essences, savons de sodium en présence de chlorure de sodium). Tous ces facteurs doivent être parfaitement maîtrisés pour l'obtention des solutions.

Cependant, en technique industrielle, la solubilité n'est pas le seul point important. La **vitesse de dissolution** impose des limitations pratiques à toute opération. Il ne peut par exemple être question d'agiter pendant plusieurs semaines un mélange pour atteindre la dissolution totale d'un produit à une concentration voisine de la saturation. La vitesse de dissolution est théoriquement donnée, pour une dissolution isotherme, par la formule de Noyes et Whitney (1897) :




▶ *Figure 2 : insertion dans les micelles (d'après A. Le Hir,* **Abrégé de pharmacie galénique,** *Éd. Masson, Paris, 1974).*

$$\frac{dc}{dt} = K \cdot S_t\ (C_s - C_t)$$

*t* est le temps, *c* la concentration, $S_t$ est la surface du solide restant à dissoudre à l'instant *t*, $C_s$ la concentration à saturation, et $C_t$ la concentration à l'instant *t*. K est une constante qui dépend de la vitesse de diffusion des molécules dissoutes, de l'agitation éventuelle, de la viscosité de la solution, etc.

Il est impossible de connaître avec précision la surface du solide à chaque instant. De même, la concentration à saturation n'est pas une constante ne dépendant que de la température et du système liquide-solide considéré. On peut, en effet, démontrer que pour un système et une température donnés la concentration d'une solution saturée dépend légèrement, mais de façon significative, de la taille des grains de solide non dissous en équilibre avec la solution; quoi qu'il en soit, on peut retenir que la vitesse de dissolution tend vers zéro quand on s'approche de la saturation parce que $S_t$ et $(C_s - C_t)$ diminuent. Pour dissoudre rapidement un produit, on a intérêt à partir d'une poudre fine (S élevée) et à agiter vigoureusement.

Enfin, la dissolution d'une substance peut être endo- ou exothermique. La thermodynamique nous montre qu'il faut refroidir dans le cas d'une substance qui libère des calories en se dissolvant, et qu'il faut chauffer dans le cas contraire. Il existe de nombreux agitateurs avec des systèmes de contrepales qui provoquent des turbulences au sein du mélange. La dissolution en pharmacie est pratiquement toujours suivie d'une filtration qui permet d'éliminer des impuretés insolubles et fournit des solutions limpides.

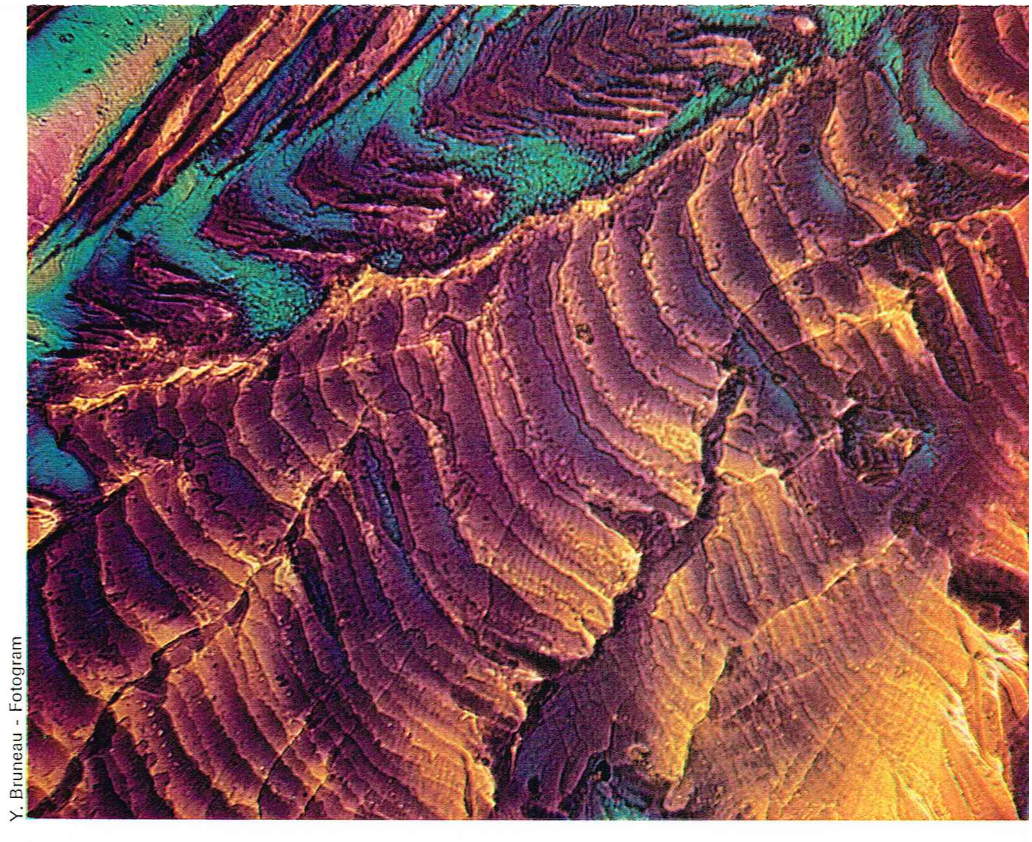
Avant d'examiner la filtration, il nous est nécessaire de dire quelques mots sur la **dissolution extractive,** ou extraction. C'est, par exemple, la fabrication des teintures (au sens pharmaceutique du mot), des extraits ou le stade préalable à l'isolement d'un principe actif à partir d'une matrice inerte. Les matières premières sont souvent des végétaux, et il s'agit de ne retenir que des principes intéressants dégagés de la chlorophylle, des fibres, etc. Le solvant peut être l'eau, l'alcool, plus anciennement des vins ou du vinaigre.

La méthode la plus simple est la *macération* à froid pendant un temps assez long le plus souvent. On peut encore opérer par *infusion* ou par *décoction* (si l'on continue à chauffer après l'ébullition). Le meilleur moyen utilisé quand on veut une extraction presque complète est la *percolation* ou *lixiviation*. Le principe est le même que celui de la préparation classique du café filtre. Ces techniques sont bien connues pour la préparation de tisanes et de boissons diverses, mais, dans le cas des médicaments, elles sont en général minutieusement décrites, notamment la lixiviation qui fournit les teintures « héroïques » (ou toxiques) : ténuité de la poudre, appareillage, titre de l'alcool, durée de l'opération, etc.

### *Filtration*

Dans le domaine du médicament, la filtration a une importance capitale, surtout quand il s'agit de la préparation de solutés injectables. C'est tout d'abord un procédé mécanique qui permet d'éliminer tout ce qui a une taille supérieure aux pores du filtre. Il s'y ajoute une adsorption, phénomène physique qui concerne une fixation de corps dissous par la surface du filtre qui est en général énorme (surfaces des pores comprises). Enfin, certaines membranes filtrantes sont de véritables filtres bactériologiques qui fournissent des filtrats stériles.

D'après ce qui précède, chaque filtration pose un problème. Le filtre idéal ne se colmate pas, a un maximum de pores calibrés et de même taille, permet une filtration rapide, supporte la pression et est stérilisable; ce filtre idéal n'existe pas. On utilise des filtres fibreux : fibres de cellulose (papier-filtre classique), fibres d'amiante (maintenant pratiquement éliminées), fibres de matières plastiques. Des membranes d'esters de cellulose prennent une place de plus en plus importante depuis que l'on sait relativement bien maîtriser la formation des pores et préparer ainsi des filtres bactériologiques. Les filtres bougies classiques (qui avaient donné lieu à la définition ancienne des « virus filtrants ») sont de moins en moins utilisés : ils se colmatent, donnent des filtrations lentes



Y. Bruneau - Fotogram

▲ ***L'acide acétyl-salicylique, dit plus communément aspirine, vu au microscope polarisant.***

avec une grande perte de charge. Le verre fritté fournit des filtres très robustes, relativement bien calibrés, facilement stérilisables en chaleur sèche ou humide.

Souvent une filtration nécessite l'emploi d'adjuvants qui évitent le colmatage, éliminent par adsorption spécifique certains composés : charbon végétal pour les substances pyrogènes (voir plus loin), kaolin, terre d'infusoires. Le matériel utilise souvent, pour accélérer le procédé, soit une dépression du côté du filtrat, soit, plus souvent, une surpression du côté amont du filtre, soit, dans des filtres du type essoreuse, la force centrifuge. Il convient dans tous les cas de contrôler le résultat de l'opération : numération des particules, éventuellement contrôle de stérilité, non-adsorption des principes dissous, recherche d'impuretés pouvant être apportées par le filtre.

### *Dispersions*

Par dispersion on entend un mélange interne de deux phases non miscibles : solide-liquide dans les suspensions, liquide-liquide dans les émulsions, liquide-gaz dans les aérosols. Cette dernière éventualité sera traitée à part; dans les formes pharmaceutiques, la formation de l'aérosol n'est réalisée qu'au moment de l'administration.

#### Émulsion

La phase dispersante est appelée phase continue (ou phase externe). Elle entoure complètement les fins globules de phase dispersée (ou phase interne ou discontinue). Une émulsion n'est jamais qu'un système instable qui se rompt plus ou moins vite par *coalescence* des globules de phase dispersée et séparation complète des phases, par *crémage* ou *sédimentation* des globules à la surface ou au fond du récipient, ou par un mécanisme mixte (coalescence et crémage dans le cas d'un mélange huile-eau). La vitesse *v* de crémage ou de sédimentation est donnée par la loi de Stokes :

$$v = \frac{2\,r^2 g\ (D_1 - D_2)}{9\,\eta}$$

où : *r* est le rayon des globules,

*g* est l'accélération de la pesanteur,

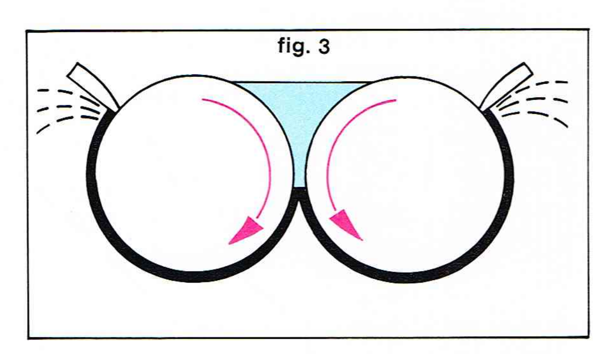
$(D_1 - D_2)$ est la différence de densité entre les deux phases,

$\eta$ est la viscosité de la phase continue.

On voit qu'une émulsion est d'autant moins sujette à crémage que le rayon des globules est plus petit, que la différence des densités est plus faible et que la viscosité de la phase dispersante est plus élevée. Le phénomène de coalescence dépend de la tension interfaciale entre les deux liquides. Celle-ci a tendance à réduire la surface de séparation et donc à provoquer la démixion.

Cela explique les règles de préparation des émulsions : obtenir des globules très fins, augmenter la viscosité du

▶ *Figure 3 : séchoir à cylindre (d'après A. Le Hir,* **Abrégé de pharmacie galénique,** *Éd. Masson, Paris, 1974).*




milieu continu, abaisser la tension interfaciale au moyen de surfactifs. Les produits utilisés sont appelés émulsionnants. Ce sont des gommes, des dérivés de la cellulose (carboxyméthylcellulose), alginates, pectines, protéines, qui agissent surtout sur la viscosité; ce sont encore des surfactifs ioniques et non ioniques : saponines, stérols, lécithines, qui agissent sur la tension interfaciale. Des études très poussées d'émulsionnants se font grâce à des mélanges ternaires : eau, surfactif, huile de vaseline; de nombreuses formulations commercialisées ont une stabilité convenable.

Le matériel nécessaire à l'échelle industrielle est constitué d'agitateurs à hélices, à palettes, à turbines, ou de malaxeurs pour des émulsions épaisses. Il faut contrôler soigneusement la température des mélanges. Dans certains cas, on est conduit à utiliser des broyeurs dits colloïdaux ou des homogénéisateurs à filières pour réduire et uniformiser la taille des globules. La phase dispersée, si les globules étaient parfaitement sphériques, pourrait représenter 74 % du volume total, chiffre qui peut même dans certains cas être dépassé. Les émulsions courantes ont des globules dont la taille est de l'ordre du micromètre.

L'essai des émulsions est très important pour le résultat de chaque opération : détermination du « sens » de l'émulsion (huile dans l'eau, soit H/E, ou eau dans l'huile, soit E/H). Cela se fait par dilution ou en utilisant un colorant (hydrosoluble ou liposoluble) qui s'étend dans la phase continue; l'examen au microscope permet de mesurer la taille des globules et d'évaluer leur uniformité. Des études rhéologiques (mesure de la viscosité) sont également du plus haut intérêt. Enfin on étudie la stabilité à la centrifugation. Signalons que, dans le domaine du médicament et des produits apparentés, le problème est de déterminer à la fois une formule et un mode de préparation qui donnent des émulsions stables et reproductibles.

*Remarque :* Pour des quantités faibles de produit hydrophobe et en présence de surfactif, il peut se former au sein de la phase aqueuse des agrégats moléculaires organisés en lamelles ou en sphères; ce sont des micelles, et on parle alors de solutions micellaires ou de pseudo-solutions. Celles-ci sont limpides. Le produit insoluble est fixé soit à l'intérieur, soit, plus rarement, à l'extérieur des micelles. On peut ainsi dissoudre des quantités notables de substances apolaires en présence de savon, de laurylsulfate de sodium, etc.

### Suspensions

La phase dispersée est un solide, la phase dispersante un liquide. L'exemple type est la suspension de sulfate de baryum; ce produit hautement insoluble est un sel d'élément lourd opaque aux rayons X et servant à l'examen radiologique de l'appareil digestif.

Les suspensions peuvent être préparées par voie chimique en provoquant, dans des conditions opératoires soigneusement étudiées, la précipitation d'un sel insoluble. Très souvent, on opère par microbroyage en milieu liquide ou à sec de façon à obtenir des particules de la taille du micromètre. Des surfactifs, des épaississants, des tampons pour contrôler le pH sont nécessaires pour la stabilité. La physique des suspensions est très complexe, et la charge électrique des particules est un facteur déterminant de stabilité. On peut la déterminer en suivant au microscope la migration de ces particules dans un champ électrique. D'autre part, les petits cristaux ont tendance à se redissoudre, alors que les plus gros croissent, ce qui altère les propriétés de la suspension. Tout cela fait que les essais sont primordiaux : contrôle de stabilité, d'homogénéité, comportement rhéologique, taille des particules, etc.

### *Dessiccation ou séchage*

C'est une opération qui a pour but d'éliminer un constituant volatil en laissant un résidu d'évaporation généralement solide. Le constituant volatil peut être un alcool, mais c'est généralement de l'eau, nécessaire pour certaines réactions biologiques ou chimiques, tandis que la dessiccation l'est souvent pour une bonne conservation. Exemples les plus classiques : les laits de régime, le plasma humain; mais la dessiccation est nécessaire pour de nombreuses matières végétales, pour les granulations par voie humide (voir ci-dessous), etc.

L'eau à éliminer peut être une eau de constitution ou eau de cristallisation : dans ce cas, elle est difficile à enlever sans dénaturation du produit. Elle peut être adsorbée physiquement sur des surfaces et les produits pulvérulents fixant facilement de la vapeur d'eau atmosphérique; l'équilibre adsorption-désorption doit être bien connu pour la détermination des conditions opératoires. Enfin, l'eau dite libre imprègne les substances à sécher.

Le séchage enlève l'eau libre, parfois l'eau adsorbée, rarement l'eau de constitution. Il consiste généralement à faire passer le liquide à l'état gazeux, et la vitesse de séchage dépend de la vitesse d'évaporation de l'eau au niveau de la surface du solide et de sa vitesse de migration à l'intérieur de ce solide; elle dépend donc de la pression partielle de la vapeur du solvant et du taux d'humidité relative de l'air ambiant, de son renouvellement, de la surface du solide, de la quantité de calories apportées pendant l'opération. La maîtrise de la température est souvent capitale pour avoir une grande vitesse d'évaporation (celle-ci absorbe des quantités énormes d'énergie, car la chaleur latente de vaporisation de l'eau est très grande : 537 calories par gramme à 100 °C); d'autre part, une surchauffe est à proscrire pour de nombreux composés fragiles. Le choix du procédé de dessiccation est donc très important, de même que le contrôle des moyens mis en œuvre.

Les appareils industriels utilisent l'air chaud dans des étuves isothermes, et surtout dans des séchoirs à lit d'air fluidisé : l'air arrive à la base de la poudre ou du granulé à sécher. Celui-ci est brassé en tous sens, suspendu sur le matelas d'air. Des séchoirs continus à contre-courant ont aussi de gros avantages. Le matériau à sécher parcourt un tunnel traversé en sens inverse par de l'air à température convenable et à humidité relative contrôlée. On évite ainsi la formation d'une croûte superficielle qui s'opposerait au séchage en profondeur. Des séchoirs tunnels à rayonnement infrarouge donnent aussi de bons résultats. Des fours à hyperfréquences, assez chers mais rapides, apparaissent également sur le marché.

On sèche également sous vide, ou sur déshydratant. Pour des extraits secs, pour certains laits, des séchoirs sur cylindre (*fig.* 3) fournissent un rendement horaire important. On peut opérer sous vide pour des produits plus fragiles.

Enfin, la nébulisation, très courante dans l'industrie alimentaire, est appliquée aussi en pharmacie. La solution ou la suspension à sécher est dispersée en fines gouttelettes d'environ 0,1 mm de diamètre, ce qui représente 70 m$^2$ par litre de liquide. Ces gouttelettes sont lancées à grande vitesse au contact d'air à 180 °C environ et sèchent en une fraction de seconde. L'air chaud peut être remplacé par un gaz inerte. Le nébulisat obtenu est très poreux, facilement soluble dans l'eau; le procédé s'applique même à des substances fragiles, car la phase délicate qui est le chauffage d'un produit encore humide a une durée très limitée.

### *Lyophilisation*

C'est une technique très employée pour la dessiccation de produits fragiles et chers. Elle s'est imposée dans le cas des médicaments et fonctionne à échelle industrielle pour des antibiotiques, des fractions de sang humain, des vaccins, des souches bactériennes, de très nombreuses formes injectables. Le principe en est simple : la solution à déshydrater est congelée très rapidement à — 50 ou — 70 °C. Un vide très poussé fait ensuite passer la glace

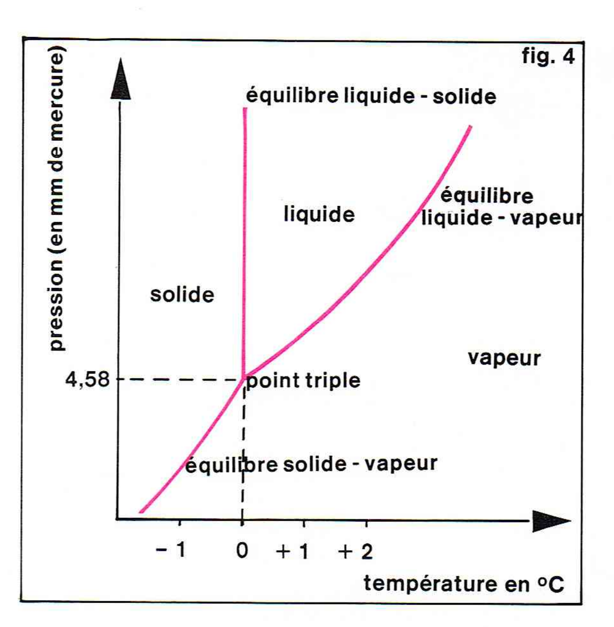
à l'état de vapeur sans repasser par l'état liquide : c'est une sublimation, qui permet de contourner le « point triple » où, vers 0 °C et 4,58 mm de mercure, les trois phases (liquide, solide, gaz) peuvent exister en équilibre (*fig.* 4).

Schématiquement, le liquide est congelé dans une enceinte appelée évaporateur, reliée à une seconde enceinte appelée condenseur et portée à une température plus basse que celle de l'évaporateur (*fig.* 5). Le tout est relié à une station de pompage. Les tuyaux doivent être très larges, car la vapeur d'eau sous très basse pression représente un volume énorme (10 $m^3$ pour 1 g d'eau sous 0,1 mm de mercure). D'autre part, en l'absence d'autre action que le pompage, l'évaporateur étant refroidi par la vaporisation de glace, l'opération s'arrêterait pratiquement quand les deux enceintes seraient à la même température. Il est donc nécessaire de compenser par un réchauffage prudent les pertes caloriques de l'évaporateur sans arriver à la fusion de la glace. Les appareils sont donc soigneusement régulés avec de multiples sondes de température, de pression, et de multiples sécurités.

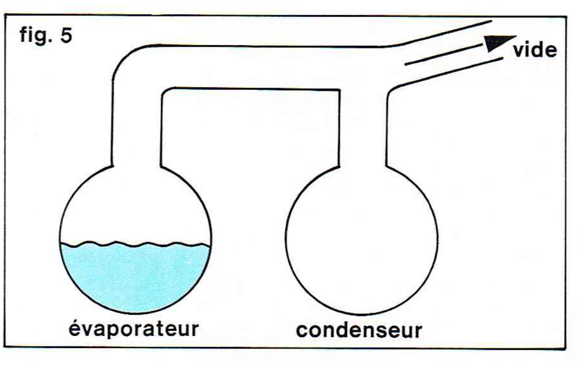
La sublimation laisse un produit poreux de volume sensiblement égal à celui de la solution initiale et se remettant instantanément en solution. Toute réaction enzymatique, toute vie bactérienne est stoppée à la congélation et devient ensuite impossible dans le produit sec. Mais la plupart des bactéries gardent leur pouvoir de reproduction et leurs caractéristiques génétiques.

### Réalisation technique

La congélation s'effectue en général dans les flacons qui doivent contenir ensuite le lyophilisat ; elle doit être brutale pour éviter la formation de microcristaux qui peuvent faire éclater les cellules. En outre, le refroidissement lent d'une solution saline entraîne d'abord une cristallisation de la glace, ce qui implique des surconcentrations locales en substances dissoutes et une possibilité de dénaturation des protéines ; c'est pourquoi on procède à une congélation par aspersion d'alcool froid souvent saturé de glace carbonique vers — 70 °C, ou par un




◀ *Figure 4 : diagramme des trois états de l'eau.*

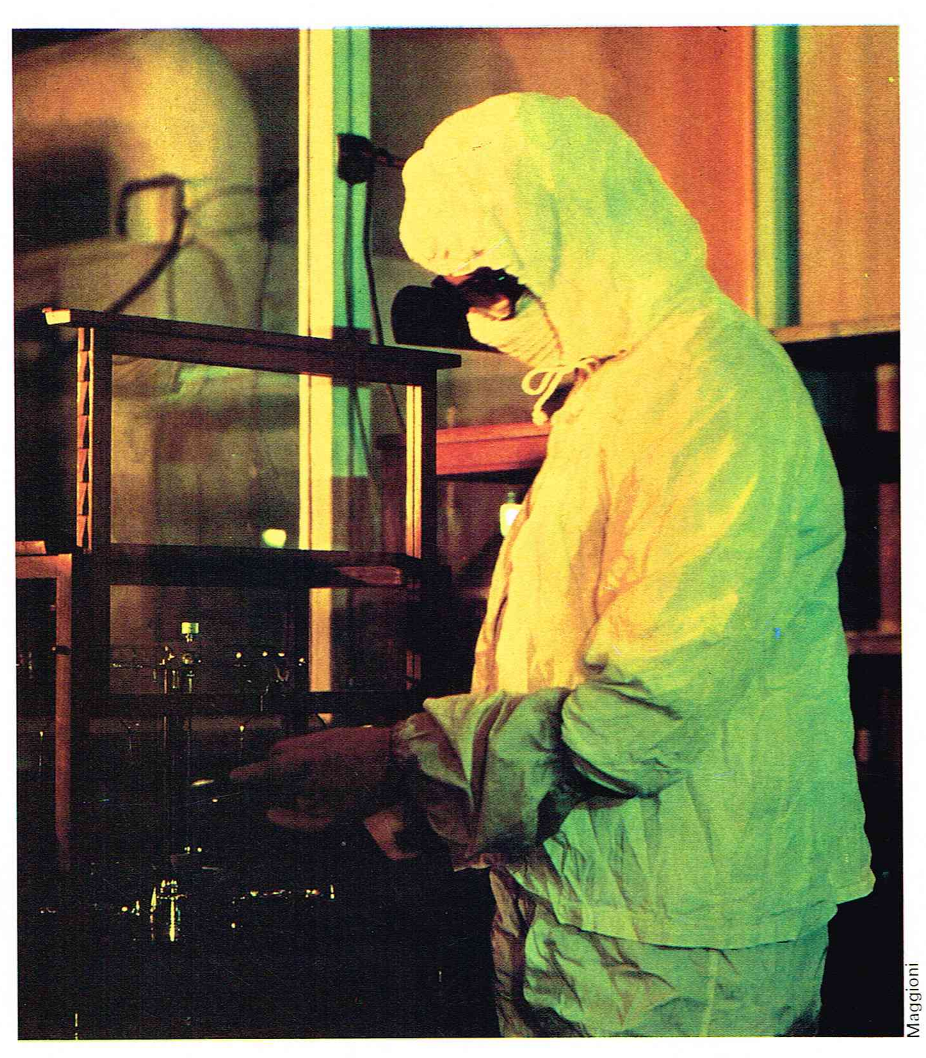



◀ *Figure 5 : représentation schématique d'un lyophilisateur (d'après A. Le Hir,* Abrégé de pharmacie galénique, *Éd. Masson, Paris, 1974).*



Scala

◀ *Laboratoire d'une ancienne pharmacie : la somptuosité du décor montre le haut niveau de considération dans lequel était souvent tenu l'art pharmacologique. Ici, l'officine des essences pharmaceutiques de Santa Maria Novella, à Florence.*


Maggioni

▲ *Manipulation dans un laboratoire de microbiologie sur des souches productrices d'antibiotique. Des précautions très strictes sont prises pour assurer la pureté microbiologique de l'inoculum : de celle-ci dépendra le rendement de l'opération industrielle appelée fermentation.*

courant d'air froid. Les flacons de grand volume sont soumis à une rotation sur eux-mêmes pour coller le liquide aux parois, accélérer le refroidissement et ensuite augmenter la surface d'évaporation. Le chauffage de l'évaporateur pour compenser la perte de calories par sublimation est le point le plus délicat.

Chaque opération industrielle est soigneusement programmée pour éviter les pertes de produits chers ou précieux : antibiotiques, dérivés du sang humain, lait de femme, greffons. Le piégeage de la vapeur est assuré par condensation à très basse température sur de grandes surfaces. Les résidus d'humidité sont ensuite enlevés à température ordinaire grâce à des déshydratants ou par pompage. Les pompes (pompes à palettes pour le vide primaire, et pompes à diffusion pour le vide secondaire) doivent permettre d'atteindre 0,1 ou 0,01 mm de mercure.

De nombreux médicaments sont instables en présence d'eau et non stérilisables à sec. La filtration stérilisante suivie de lyophilisation permet seule d'obtenir des formes pharmaceutiques stériles et instantanément solubles. Malgré le prix de revient de la méthode, celle-ci s'étend à l'industrie alimentaire : champignons, café soluble, etc.

### Granulation

Cette opération intervient dans la fabrication de plusieurs formes pharmaceutiques. Le granulé peut être administré directement, mais souvent il sert à la fabrication des comprimés.

La granulation a pour but de transformer un mélange pulvérulent en agrégats solides souvent poreux. Les agrégats s'écoulent mieux que les poudres pour les préparations volumétriques : comprimés, gélules, etc.

La granulation peut être faite par voie humide ou par voie sèche. Dans le premier cas, on ajoute au mélange un liquide qui a un pouvoir solvant moyen vis-à-vis des constituants. On peut encore ajouter un agglutinant : sirop de sucre, solution de gomme, par exemple. On obtient une masse compacte qui est passée à travers un tamis grossier sous l'action de la pression. Les appareils à granulation rappellent les moulins à légumes ménagers. Le séchoir à lit d'air fluidisé peut être également utilisé. Sur la poudre en suspension sur un matelas d'air on verse un liquide de mouillage qui fait s'agglomérer en grains les particules. Un courant d'air chaud provoque ensuite le séchage.

La granulation par voie sèche est réservée aux substances qui ne supportent pas la voie humide ou le séchage qui la termine. Le mélange est comprimé dans des presses classiques ou entre deux cylindres tournant en sens inverse. Les comprimés ou les plaques sortant des cylindres sont ensuite broyés et tamisés.

Le contrôle des granulés est un contrôle de granulométrie, de dureté, de densité apparente, de fluidité et de porosité.

### Stérilisation

C'est une opération qui vise à priver un produit des micro-organismes vivants qui le souillent. Dans le domaine du médicament, tout traitement trop violent étant généralement exclu, on se fonde sur des études statistiques. On sait, par exemple, que trois minutes à 120 °C équivalent à 30 minutes à 110 °C et à 4 heures à 100 °C vis-à-vis des spores très résistantes de *Clostridium botulinum*. On définit une température et une durée de stérilisation qui sont capables de réduire une population de ce germe d'un facteur très grand : $10^{12}$ par exemple.

Pour la stérilisation d'une solution injectable, on applique les principes suivants : on part d'une solution aussi peu contaminée que possible (produits propres, verrerie traitée à l'eau de Javel, eau fraîchement distillée, locaux spécialement conçus et fréquemment désinfectés, laissés sous lampes germicides la nuit, etc.). La solution est filtrée parfois sur membrane stérilisante, conditionnée et aussitôt portée à l'autoclave. Si chaque flacon contenait au départ $10^5$ germes de même résistance que le *Clostridium botulinum* cité plus haut, il pourrait rester un germe pour $10^7$ flacons.

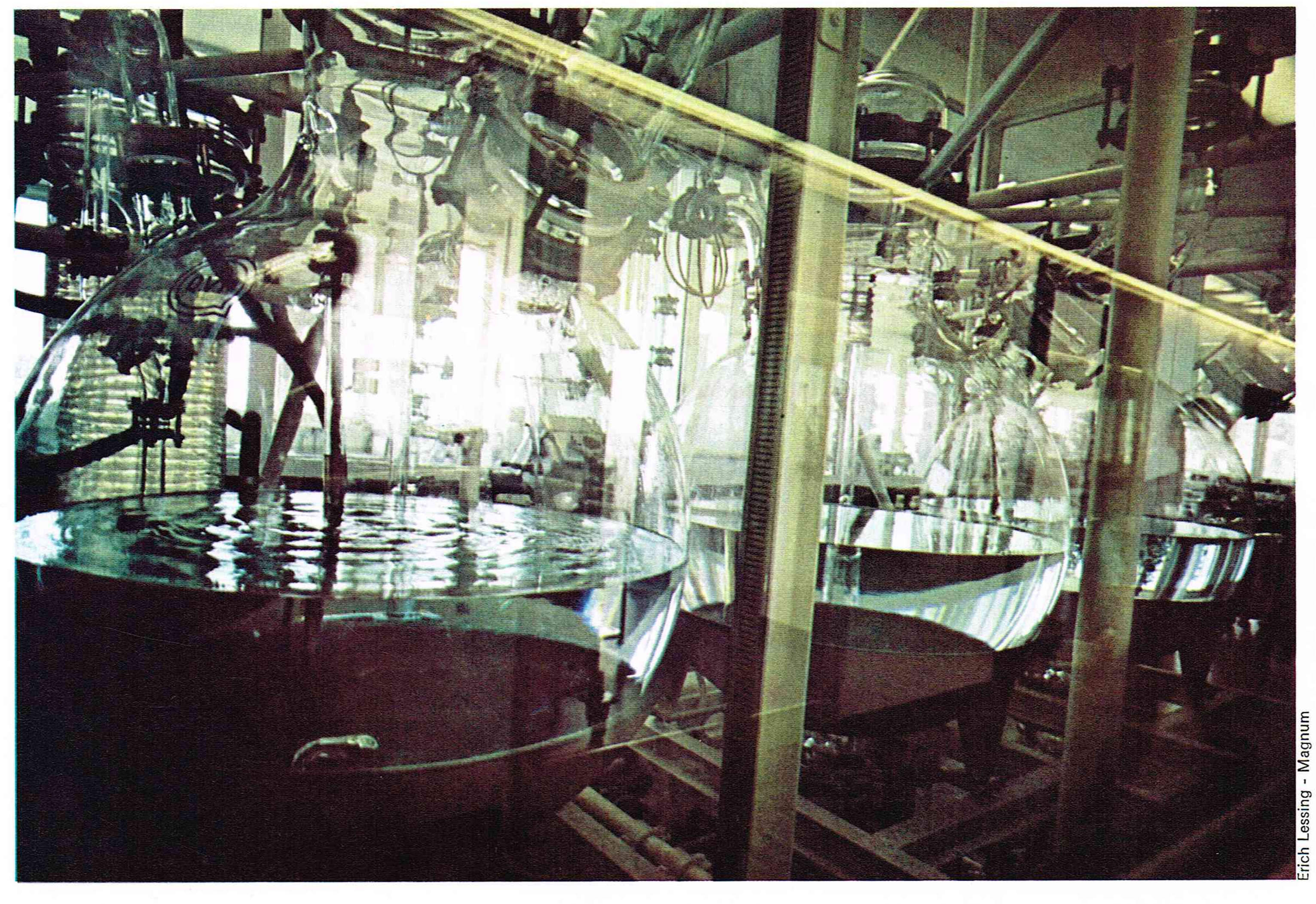
Le contrôle de stérilité est obligatoire. Sur chaque lot de stérilisation un certain nombre d'ampoules et de flacons servent à ensemencer des milieux de culture pour germes aérobies, anaérobies, et pour des champignons microscopiques. Si aucune pousse n'est décelée après 7 jours, le soluté est considéré comme stérile.

La stérilisation par la chaleur s'effectue dans des autoclaves contenant un peu d'eau. La vapeur produite chasse l'air grâce à une vanne de purge et permet d'atteindre ensuite une température homogène déduite d'une mesure de pression (120 °C pour 1 atmosphère par exemple). On ouvre l'autoclave après refroidissement à 100 °C pour éviter une condensation sur le matériel stérilisé.

Les opérations industrielles sont réalisées sur le même principe, mais avec un matériel plus évolué. L'air est évacué par des pompes, la vapeur est injectée sous pression, réchauffée et brassée en permanence, puis remplacée en fin d'opération par de l'air comprimé pour éviter l'explosion des récipients. Cela accélère le refroidissement. On enregistre en continu la température de l'autoclave, et souvent celle de l'intérieur d'un flacon témoin. Dans certains cas, une suspension microbienne test est jointe au lot à stériliser. La présence d'eau est déterminante : les spores de tétanos sont détruites en atmosphère humide en 15 minutes à 120 °C, et en atmosphère sèche en trois heures à 160 °C. Ainsi, les solutions huileuses sont très difficiles à stériliser, de même que le matériel. La stérilisation par des antiseptiques phénoliques est parfois autorisée pour les produits fragiles.

### Conditionnement aseptique

Dans certains cas déjà évoqués, le conditionnement est fait aseptiquement dans des salles stériles, ou encore dans des vitrines ou hottes à « flux laminaire ». De l'air filtré stérile y est soufflé sans turbulence de façon continue. Le personnel disparaît sous des vêtements stériles avec coiffe, masque et souvent lunettes, imposées par l'usage des lampes ultraviolet germicides. La technologie des filtres a bénéficié des apports des industries électronique et aérospatiale.




▲ ***Le principal excipient des médicaments liquides est l'eau distillée. On la prépare par évaporation, suivie de condensation. Ici, préparation de l'eau distillée des laboratoires Laroche.***

## *Principaux matériaux utilisés*

### *Excipients*

Il est très rare que les principes actifs puissent être employés seuls : leur goût est désagréable, les quantités à utiliser sont trop faibles, etc. On fait appel à un *excipient* simple ou composé qui reçoit le principe actif. L'excipient est parfois un *véhicule* servant à transporter le médicament à son lieu d'absorption dans l'organisme. Parfois il aide le principe actif à jouer son rôle : c'est un *adjuvant*.

#### Eau distillée

Le principal excipient est l'eau distillée. On la prépare dans des appareils comprenant une chaudière servant d'évaporateur et un condenseur où la vapeur, soigneusement débarrassée de gouttelettes qu'elle pourrait entraîner (primage), retourne à l'état liquide. En général, on élimine la fraction la plus volatile (gaz dissous par exemple) en jetant la « tête » de distillation. De même, la fraction de « queue », qui pourrait être souillée par la décomposition de sels minéraux, n'est pas conservée : on garde le « cœur » de la distillation.

Les appareils sont en silice, en Pyrex et souvent en acier inox. Le principal problème est le coût de l'opération : il faut 537 calories pour transformer 1 gramme d'eau à 100 °C en vapeur à la même température. D'où une grande dépense d'énergie et d'eau froide pour la condensation. De nombreux dispositifs industriels (distillateurs à effets multiples, à thermocompression) permettent d'abaisser le coût de l'opération en récupérant les calories.

#### Eau déminéralisée

L'eau est purifiée par passage sur des colonnes de *résines échangeuses d'ions*. Une résine sous forme acide échangera les ions métalliques contre des protons $H^+$. On la régénère avec des acides concentrés. Une autre résine échangera les anions contre des hydroxyles $OH^-$. On la régénère par des bases fortes. Parfois les deux résines sont réunies dans une même colonne (lits mélangés), et l'eau obtenue est très pure (environ 10 microgrammes de sels par litre). La régénération est effectuée après séparation des deux résines dans des installations spécialisées.

Le procédé est économique ; s'il est bien conduit, l'eau ainsi préparée est excellente, souvent dépourvue de substances organiques retenues par adsorption.

L'*osmose inverse* est un procédé qui consiste à faire passer de l'eau sous pression à travers une membrane de très faible porosité. Les ions minéraux se concentrent dans la fraction non filtrée. Avec plusieurs étages successifs, on obtient une eau très pure sans particules, sans bactéries, sans ions. C'est un procédé très économique, qui s'étend beaucoup, mais n'est pas encore admis pour la préparation de solutés injectables.

#### Autres excipients

De nombreux autres excipients sont utilisés. Nous les citerons à propos des formes médicamenteuses détaillées ci-après. L'eau étant d'un emploi très général, il nous a semblé utile de la traiter à part.

### *Matériaux de conditionnement*

#### Verres

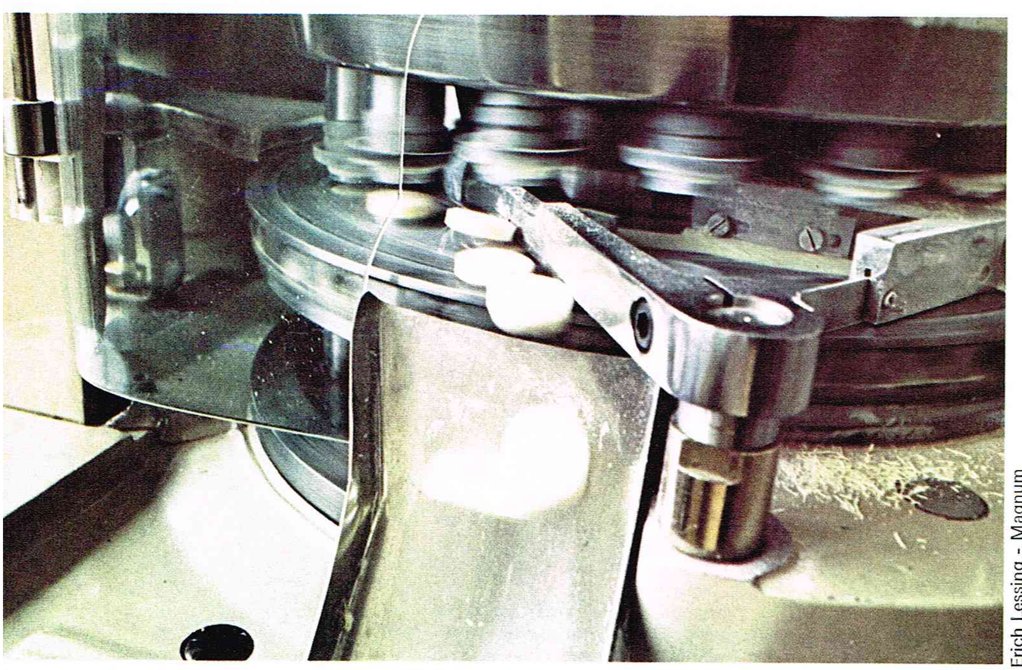
De la même façon, un matériau de conditionnement surpasse tous les autres pour les liquides : il s'agit du verre, qui est préparé par fusion de sable (silice) et de carbonates alcalins et alcalino-terreux (sodium, potassium, calcium). De petites quantités de borate lui confèrent un faible coefficient de dilatation et une grande neutralité chimique.

En effet, par contact prolongé avec l'eau, un verre normal relâche des ions alcalins. Pour éviter cet inconvénient, les récipients à liquides injectables sont soit



Ian Berry - Magnum

▲ *Le verre est très utilisé comme matériau de conditionnement des médicaments, en particulier sous forme d'ampoules. Ici, scellage d'une petite série d'ampoules aux laboratoires Castaigne S. A.*
▼ *Le comprimé est la forme médicamenteuse la plus répandue et peut être fabriqué industriellement à grande échelle, comme le montre la photographie ci-dessous.*



Erich Lessing - Magnum

neutres dans la masse, soit traités en surface. On injecte à chaud dans les récipients un gaz acide qui permet après lavage d'obtenir une pellicule très mince dépourvue d'ions alcalins. Ces derniers récipients ne peuvent servir qu'une fois. Le verre est lourd, cher, cassant, mais il est transparent et thermosoudable (ampoules). Son inertie et son innocuité sont éprouvées, et, malgré les progrès réalisés, le plastique idéal qui le remplacera dans tous les cas n'est pas encore découvert.

## Principales formes médicamenteuses

### Formes orales liquides

Les **potions** sont des mélanges contenant diverses solutions, des sirops et de l'eau. Leur composition est souvent déterminée par une prescription médicale pour un seul malade, et leur conservation est médiocre. Au contraire, les **sirops** sont saturés de sucre qui leur confère, quand ils sont bien faits, une conservation convenable, car les micro-organismes ne peuvent y pousser. Ils sont soit simples, soit composés. Préparés généralement à partir de sucs végétaux, ils ont souvent bon goût et servent également d'édulcorants. On peut dans certains cas les préparer à partir d'extraits concentrés et de sirop de sucre dit « simple ». De même, des **émulsions** et **suspensions buvables** sont parfois commodes pour les jeunes enfants, mais leur conservation est souvent délicate. On est parfois obligé de diluer dans un sirop excipient un granulé de médicament enrobé d'un vernis insoluble : c'est une suspension extemporanée. Les **ampoules buvables,** en verre coloré pour éviter les confusions avec les ampoules injectables, sont chères et, d'ailleurs, peu employées à l'étranger. Toujours stériles, elles ont une meilleure conservation que sirops et potions.

### Formes orales solides

Les **comprimés** sont obtenus par agglomération sous pression d'une ou plusieurs substances médicamenteuses additionnées ou non d'adjuvants. C'est la forme médicamenteuse la plus répandue : emploi facile, bonne conservation, dosage unitaire précis, fabrication industrielle à grande échelle et de prix restreint, possibilité d'enrobage pour masquer un mauvais goût ou pour éviter la désagrégation dans l'estomac sont les principaux avantages.

La fabrication des comprimés est simple : on part d'un mélange de poudres : principe actif, diluants, lubrifiants, agglutinants, éventuellement délitants, ou désintégrants, de formulation en général très étudiée. Ce mélange est granulé, puis comprimé dans des machines alternatives (*fig.* 6) ou rotatives entre deux poinçons (*fig.* 7). Le rendement horaire d'une machine rotative peut atteindre 100 000 à l'heure. Les conditions de fabrication sont soigneusement mises au point pour obtenir une bonne reproductibilité, une biodisponibilité convenable. Des contrôles à tous les stades de fabrication sont nécessaires : dureté, homogénéité de poids, qualité de l'enrobage, etc.

Les **capsules** sont des globules creux à base de gélatine et dont la cavité est remplie d'un mélange médicamenteux. Les *capsules molles* sont généralement préparées à partir du mélange gélatineux coulé en deux feuilles qui sont soudées autour du médicament injecté par une pompe volumétrique. Les *capsules dures* ou *gélules* sont composées d'une enveloppe de gélatine en deux parties qui s'emboîtent et peuvent être scellées. Le remplissage est fait volumétriquement par une poudre ou un granulé dont l'excès est ôté par arasage ; ou encore, on injecte dans la partie inférieure la plus fine une sorte de comprimé peu tassé préparé dans un compresso-doseur. Ce sont les gélules qui, de loin, sont les plus utilisées. Cette forme est en constante expansion malgré son prix élevé et la difficulté de préparation qui nécessite une atmosphère contrôlée pour assurer une constance de la forme géométrique des enveloppes. Mais la fabrication est relativement simple, réalisable en officine à partir d'enveloppes vides. Il n'y a pas de problème de délitement.

Les autres formes orales solides sont les **poudres,** les **granulés** ou *saccharures granulés,* enrobés ou non, les **cachets :** deux capsules de pâte azyme cuite sont réunies après remplissage, soit par emboîtage, soit par collage après humidification des bords. Leur conservation est médiocre, car les produits sont en contact avec l'air.

Les **pilules** sont réalisées par division d'une masse pilulaire faite de principes actifs solides ou pâteux additionnés de miel, de sirop ou de poudre inerte selon les cas. Les pilules sont ensuites roulées pour être bien sphériques et éventuellement enrobées. Cette forme, de moins en moins fréquente en officine, est devenue très rare à l'échelle industrielle, car la préparation en est compliquée et lente.

Rappelons que toutes les formes orales solides destinées à la voie générale doivent donner lieu à des essais de biodisponibilité *in vitro* et surtout *in vivo* pour s'assurer que le principe actif ne sera absorbé ni trop vite ni trop lentement, pour maintenir le plus longtemps possible la concentration sanguine entre les limites de toxicité et d'efficacité. D'où des études poussées sur chaque nouvelle formulation.

### *Formes réservées à la voie parentérale*

Il s'agit de solutés injectables dont le volume va d'une fraction de millilitre au litre. Les solutés sont généralement limpides, à l'exception de quelques émulsions ou suspensions. Ils sont stériles et apyrogènes.

On dit qu'une préparation est *pyrogène* si son injection détermine un accès fébrile dû à des produits assez mal connus venant du métabolisme bactérien et non détruits à la stérilisation; cela est surtout à craindre pour des solutions de grand volume. Les substances pyrogènes peuvent souiller des principes actifs (glucose, amino-acides, citrates, etc.), et des précautions très strictes doivent être prises lors de la fabrication : essai des produits de départ, traitement des récipients et conduites par des oxydants, emploi d'eau distillée depuis moins de trois heures ou conservée à plus de 60 °C, filtration sur charbon, etc. Le contrôle d'apyrogénéité se fait en suivant la température rectale du lapin auquel on a administré la préparation. Un autre test de nature immunologique, le « Limulus test », est à l'étude; il remplacera peut-être les servitudes des essais chez l'animal.

Les préparations injectables sont souvent neutres pour être à un pH physiologique et isotoniques, c'est-à-dire que des cellules mises en contact avec le soluté ne tendent ni à perdre de l'eau ni à en gagner. En pratique, l'abaissement cryoscopique d'un soluté est de 0,55 °C, sans quoi il est dit hypo- ou hypertonique, et des précautions d'emploi s'imposent.

Les solutés sont présentés en flacons sertis pour de gros volumes ou quand ils sont à préparer extemporanément à partir d'un lyophilisat et d'une ampoule de solvant. Les petits volumes sont présentés en ampoules à une ou deux pointes remplies unitairement avec des seringues de précision (ampoules bouteilles), ou encore après évacuation de l'air qu'elles contiennent par action du vide.

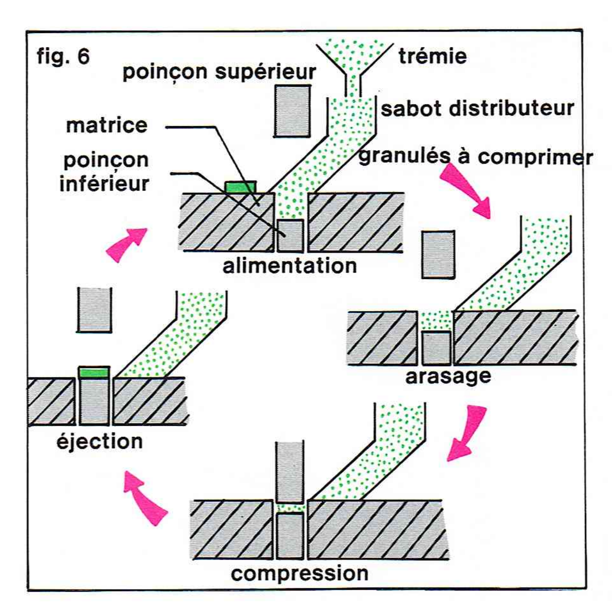
### *Les collyres*

Préparations généralement liquides destinées au traitement des yeux, ils sont délivrés en flacons de petit volume munis d'un compte-gouttes et contiennent généralement un antiseptique pour rester relativement propres pendant leur durée d'emploi. Pour les opérés, on utilise des ampoules jetées aussitôt après usage. Leur fabrication rappelle celle des solutés injectables. Ils sont stériles, neutres, isotoniques et, en général, limpides.

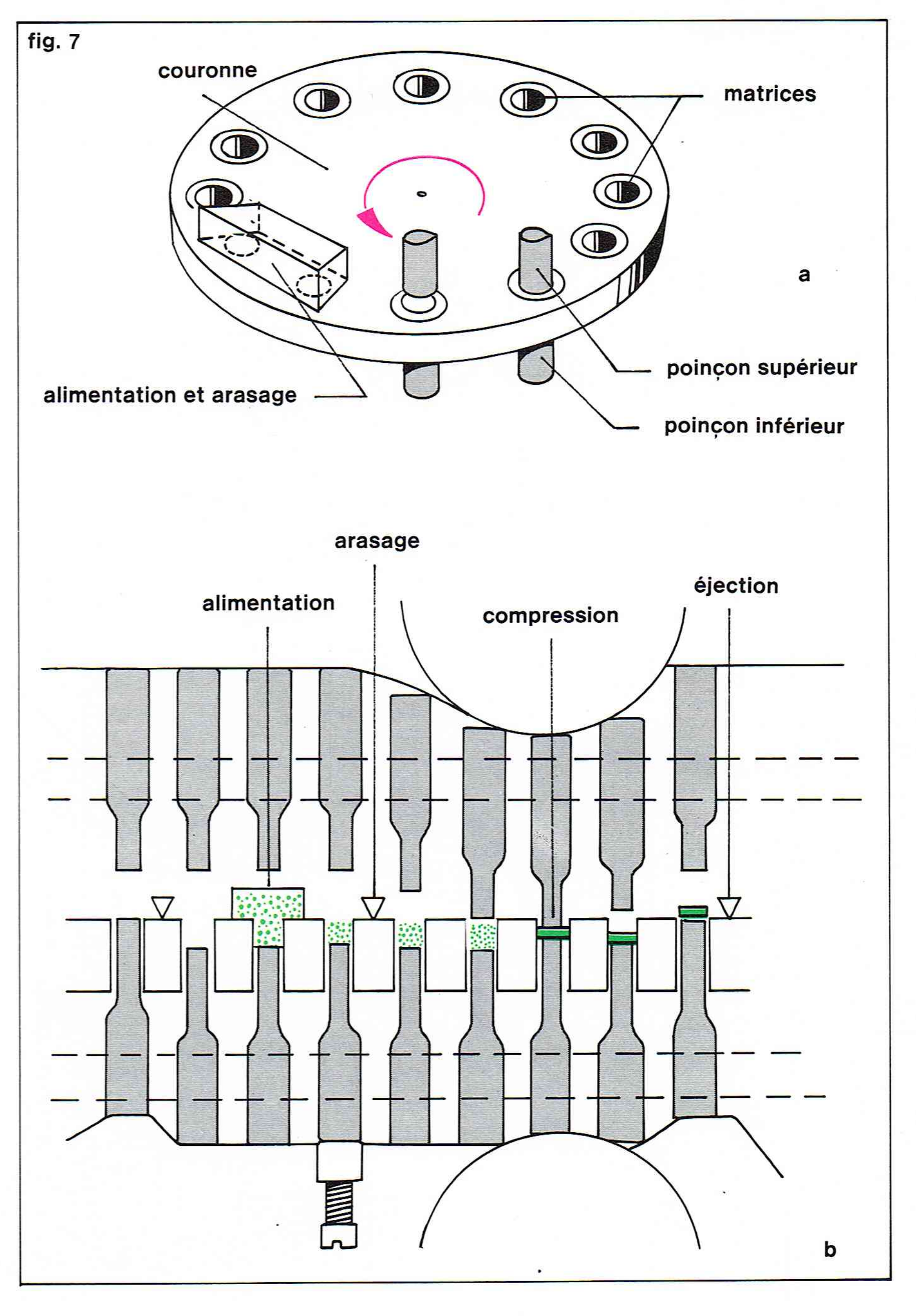
### *Les suppositoires*

Ce sont des préparations de consistance molle ou solide destinées à être introduites dans le rectum. Au départ, leur action était locale (suppositoires à la gélatine glycérinée, par exemple), puis ils ont été adaptés à la voie générale (antibiotiques, fébrifuges, etc.), sauf dans les pays anglo-saxons, très réticents à cette forme pourtant commode chez les jeunes enfants.

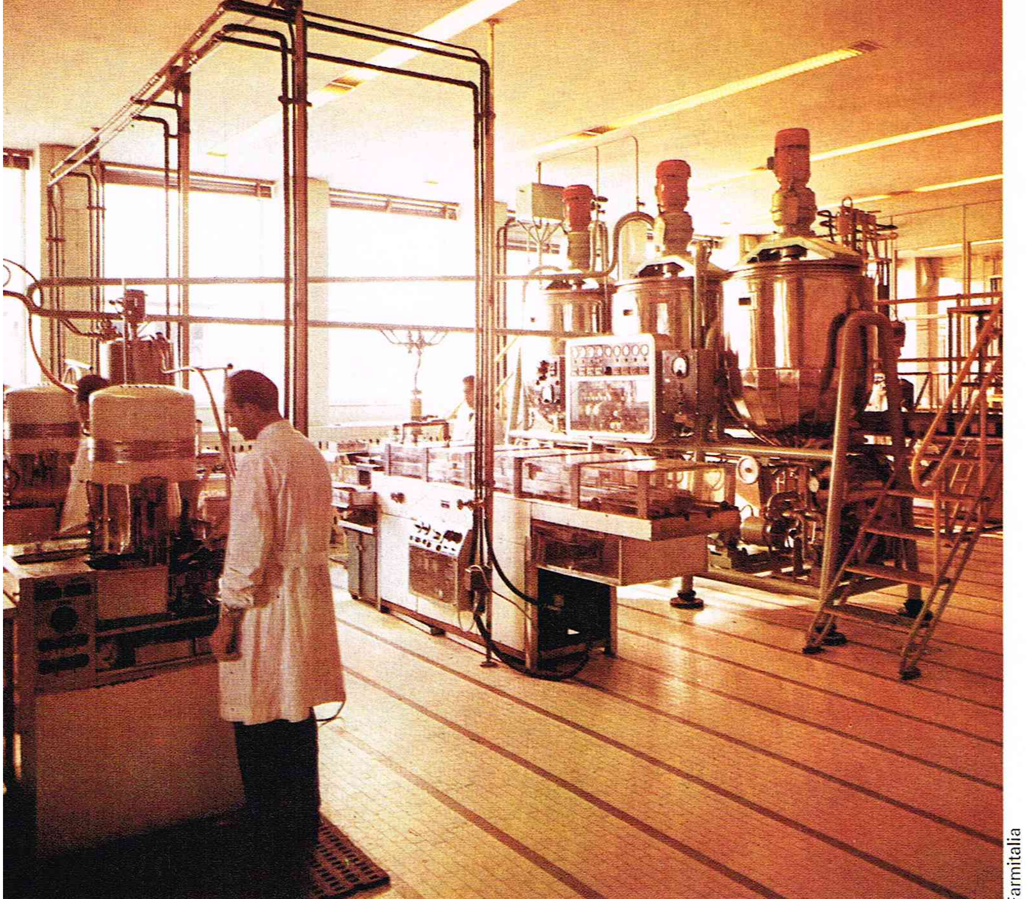
Les excipients sont soit des graisses naturelles (beurre de cacao) ou semi-synthétiques fondant dans le rectum, soit des produits hydrosolubles (gélatine) ou s'émulsionnant avec l'eau (polyéthylèneglycols). Cette dernière solution est préférée pour les pays chauds. Principe actif et excipient sont mélangés et fondus à une température aussi basse que possible, puis coulés dans des moules refroidis servant parfois d'emballage. Un contrôle sévère de la température est nécessaire, de même qu'une agitation permanente pour éviter toute sédimentation.




◀ *Figure 6 : différentes phases de la compression (d'un comprimé) sur machine alternative (d'après A. Le Hir,* Abrégé de pharmacie galénique, *Masson, Paris, 1974).*




▼ *Figure 7 :* a, *machine à comprimer rotative;* b, *déplacement des poinçons dans une telle machine (d'après A. Le Hir,* Abrégé de pharmacie galénique, *Masson, Paris, 1974).*



Farmitalia

▲ *Unité de préparation de suppositoires.*

### *Les pommades*

Destinées à être déposées sur la peau ou les muqueuses, elles contiennent un ou plusieurs principes actifs dispersés dans un excipient hydrophobe (vaseline) ou hydrophile (polyéthylèneglycols). Les excipients hydrophiles ou les émulsions facilitent le mélange avec le sébum des follicules pileux et, par là, la pénétration des principes actifs à travers la peau. La faveur des utilisateurs joue surtout pour des produits lavables, mais il se pose alors des problèmes de conservation.

Les pommades sont faites au mortier à l'officine ou dans des malaxeurs mélangeurs dans l'industrie.

### *Autres formes*

Nous citerons enfin sans les développer les *comprimés* et les *ovules gynécologiques*, les *aérosols vrais* préparés extemporanément dans des générateurs donnant des particules relativement calibrées de quelques micromètres de diamètre qui peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires. Les *bombes aérosols* courantes servent à délivrer des « faux » aérosols non calibrés et destinés à la peau, la gorge ou la muqueuse nasale. N'oublions pas les gouttes nasales, les collutoires, gargarismes, lavements, et les anciennes fumigations, inhalations, cigarettes, bougies, etc. L'arsenal médicamenteux est varié, mais, en fait, un petit nombre de formes représente l'immense majorité des unités thérapeutiques délivrées.

## *Contrôle des formes pharmaceutiques*

Toute forme pharmaceutique industrielle doit donner lieu à une mise au point dont nous avons donné quelques éléments. Dans les pays évolués, les gouvernements augmentent sans cesse le nombre des essais qui précèdent l'application à l'homme : essais analytiques, essais pharmacologiques, essais toxicologiques, puis essais cliniques.

L'autorisation de lancer un nouveau médicament prend de sept à dix ans, et les dossiers à fournir représentent souvent un volume de plusieurs mètres cubes. Chaque lot de matière première est, bien sûr, contrôlé selon les normes de la pharmacopée si elle y figure ou selon des normes définies par le fabricant et agréées par le ministère de la Santé pour les autres produits. Chaque lot de fabrication est ensuite soumis à des contrôles stricts en cours de procédé et sur le produit terminé. Tout cela augmente les investissements et les coûts, entraînant une concentration de l'industrie pharmaceutique et la course à la production.

▶ *Page ci-contre, avant d'être lancé, un nouveau médicament est largement expérimenté sur l'animal. Ici, expérimentation sur des lapins aux laboratoires Labaz (recherche de substances pyrogènes).*

Ian Berry - Magnum

# QUESTIONS LIÉES A L'USAGER

## *Marketing*

Nous avons vu en introduction que la définition du médicament n'est pas toujours évidente; il est souvent nécessaire pour restaurer une fonction vitale, mais on glisse au produit de confort, à la diététique, à la cosmétologie et tout simplement à une sorte de potion magique où la part psychologique est prépondérante. De même, le circuit commercial est variable : la vente en pharmacie confère en général une bonne image de marque; mais, dans certains pays, la distribution de nombreux produits médicamenteux est assurée par des « drugstores » ou des supermarchés : vitamines, chewing-gums ou chocolats purgatifs, aspirine, dentifrices spéciaux, tisanes, etc. L'utilisateur peut être le malade, le médecin et plus souvent l'infirmière dans le domaine hospitalier. En France, le remboursement par les organismes spéciaux n'est d'ailleurs possible que pour les médicaments dont la publicité est réservée au corps médico-pharmaceutique. Cependant, le chiffre d'affaires d'une officine est dû pour environ un tiers à l'autoprescription. Ainsi, la situation est complexe, différente selon les pays.

Ce qui apparaît comme une constante, c'est la surveillance des prix de cession et des marges bénéficiaires pour tout ce qui fait l'objet d'une couverture sociale. Compte tenu des coûts d'étude et de lancement, le nombre des produits originaux lancés chaque année décroît sans cesse. Il est de quelques unités pour le continent nord-américain. En France, des formulations perfectionnées apparaissent pour des produits déjà connus. L'amélioration porte sur la biodisponibilité, la présentation, parfois l'économie du temps d'infirmière (seringues préremplies, conditionnement unitaire).

La durée de vie d'un médicament est une donnée très variable. Des modes passent; on peut sans crainte employer ce mot en constatant d'énormes disparités dans la consommation de certains produits d'un pays à l'autre : par exemple, la France consommait à elle seule les deux tiers des sels de bismuth produits mondialement. Les accidents neurologiques graves dus à leur emploi sont apparus ces dernières années seulement et n'ont pas reçu d'ailleurs d'explication satisfaisante. Mais le résultat est que ces sels sont en cours d'abandon sans que la santé publique en semble perturbée. Le fameux « baume du tigre », produit miracle en Extrême-Orient, est pratiquement inconnu ailleurs.

Certains médicaments disparaissent parce que leur activité a beaucoup baissé. C'est le cas de nombreux antibiotiques auxquels les germes deviennent résistants en quelques années par la faute d'une prescription aveugle et anarchique.

Il est sûr que l'abus des médicaments est une plaie des pays civilisés. Mais qui nierait l'intérêt de l'insuline, de la digitaline ou des antituberculeux? Même le sinistre thalidomide est précieux dans certaines formes de lèpre. Face à cette situation complexe, le marketing n'est pas chose simple.

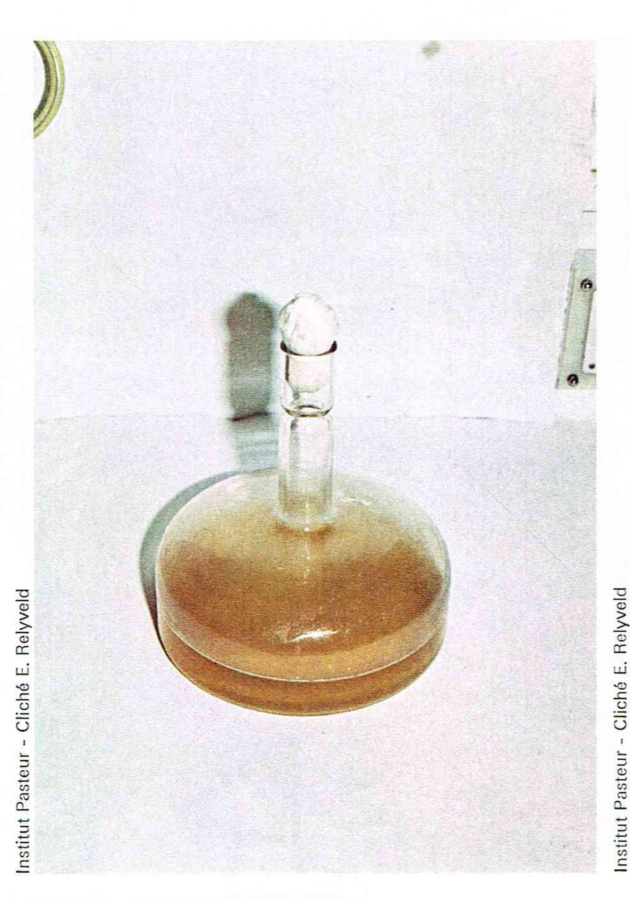
## *Le médicament face au design*

Deux tentations s'opposent. Ou bien, par une présentation originale et séduisante, on cherche à en faire un produit attrayant. Une débauche de colorants dans sa préparation ou sa présentation le fait paraître moins triste et plus facile à absorber. Mais ce n'est pas sans risque : les enfants sont tentés d'en abuser; l'emploi de colorants a mauvaise presse; de plus, l'utilisateur se limite à son aspect au lieu de lire l'étiquette, et de nombreuses confusions sont possibles. Ou bien, on supprime les couleurs, on normalise la présentation, et il y a perte de critères de reconnaissance. A l'heure actuelle, il semble que la balance penche du premier côté, mais il n'est pas dit que la tendance ne s'inversera pas.

Nous avons dû, à travers ce rapide survol, laisser dans l'ombre certains points particuliers, poser des questions sans y apporter de réponse. Le médicament est devenu sujet d'actualité. La littérature le concernant surabonde. Comment se peut-il qu'il reste aussi mal connu? Peut-être ces quelques pages contribueront-elles à le faire mieux percevoir; c'est le souhait de l'auteur.



▶ *Méthode classique : culture du bacille diphtérique pour la production de toxine ; on ensemence le germe dans un flacon plat offrant une large surface de contact avec l'air pour faciliter le développement du microbe aérobie. La culture a été filtrée sur bougies pour recueillir la toxine dans le grand flacon. On y ajoute 2 % de formol, et, après une incubation de deux semaines à l'étuve à 37 °C, la toxine est transformée en anatoxine, inoffensive et vaccinante. Tel est le principe de la méthode originale de Gaston Ramon.*


Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld



Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

# LES VACCINS

L'époque contemporaine, c'est-à-dire la période débutant avec le deuxième quart du XXe siècle, où interviennent pour l'humanité les effets cumulés de la révolution industrielle, du progrès scientifique et de l'évolution de la médecine, est caractérisée par l'accroissement accéléré de la population mondiale et l'allongement progressif de la durée moyenne de la vie humaine. Si, dans l'ensemble, l'amélioration du niveau de vie moyen, l'évolution de l'alimentation et de l'hygiène, l'accroissement des biens de toute nature à répartir entre les hommes ont joué un rôle indéniable dans cette évolution démographique, il n'en demeure pas moins que le facteur majeur est représenté par la disparition des maladies infectieuses responsables des grandes épidémies et par la réduction progressive de la mortalité infantile, ces deux facteurs agissant directement sur la démographie.

En dehors des grandes épidémies dévastatrices qui ont pratiquement disparu, c'est surtout l'enfance qui est sensible aux maladies infectieuses. La mortalité infantile était, pour 1 000 naissances vivantes :

- — en 1770, de 252 ;
- — en 1870, de 178 ;
- — en 1970, de 20 ;
- — en 1976, de 12,6.

Cette même mortalité infantile qui, en 1880, était de 218 en Hollande, de 178 en Suisse, n'est plus, en 1970, que de 14 et 17. Elle s'abaisse au-dessous de 12 pour la Suède : on approche du minimum raisonnablement possible.

La variole, depuis 3 000 ans la plus grande tueuse d'hommes, n'existe plus que sur un territoire restreint en Afrique Noire ; la diphtérie, le tétanos sont vaincus par le vaccin, la poliomyélite a disparu des pays qui vaccinent. Résultat : la France connaît en 1976 un taux brut de mortalité de 10,5 dans lequel les maladies infectieuses ne comptent plus que pour 91 sur 10 000 décès. L'espérance de vie est à la naissance de 69 ans pour les hommes, de 77 ans pour les femmes.

Conséquences : en 1970, le rythme de croissance de la population n'est, avec la diminution de la natalité, que de 0,80 pour l'Europe et de 1,84 pour l'Amérique du Nord, régions les plus évoluées. Mais il est de 2,20 pour l'Asie et de 2,85 pour l'Amérique du Sud, ce qui correspond à une population multipliée par 10 en 50 à 60 ans.

En contrepartie, avec un taux brut de reproduction de 0,89, la France verra sa population, actuellement en faible augmentation apparente du fait de l'allongement de la durée moyenne de la vie, diminuer au fur et à mesure de la disparition des tranches les plus âgées, remplacées par des générations de plus en plus réduites en nombre.

On voit, en dernière analyse de ces considérations démographiques, dont l'incidence sur le devenir du globe est évidente, qu'elles sont avant tout le résultat immédiat de la pratique généralisée des vaccinations, car celles-ci manifestent leur efficacité même parmi les populations du tiers monde chez qui l'hygiène alimentaire demeure précaire, le niveau de vie bas et l'alimentation insuffisante. Elles contrebalancent et ralentissent temporairement dans les pays évolués les effets de la dénatalité en masquant le déclin de la population qui en est la conséquence.

On peut donc dire que les vaccinations sont devenues l'un des points forts parmi les facteurs essentiels de l'évolution du monde moderne.

## *Pourquoi vacciner ?*

L'idée de vacciner part d'une observation multiséculaire : les individus qui ont été atteints d'une maladie infectieuse dont la mortalité est naturellement élevée et qui ont survécu, sont épargnés et ne rechutent point lors d'une nouvelle offensive du même mal. Un millénaire avant notre ère, les Chinois s'efforçaient de se protéger contre la variole, maladie hautement épidémique avec une mortalité très élevée, en insérant dans l'épiderme des sujets à protéger un fragment de fil de soie passé dans une vésicule de varioleux où le virus était atténué par une longue dessiccation.

Une variante de cette méthode, malgré tout aléatoire et souvent dangereuse, la *variolisation*, connut en Europe une assez grande faveur lorsqu'elle y fut introduite en Angleterre par lady Montagu, épouse d'un ambassadeur en Turquie. Mais elle fut supplantée par la vaccination au moyen du cow-pox lorsqu'en 1796, le médecin anglais Edward Jenner, qui avait appris d'un pasteur


Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

◀ *Toxine diphtérique à l'état cristallisé. Le développement des techniques de purification des toxines permet d'obtenir celles-ci à l'état cristallisé avec un degré de pureté quasi absolu. Toute espèce de substance étrangère provenant du milieu de culture en est éliminée. La toxine est ensuite traitée pour être transformée en anatoxine. C'est le principe même des méthodes modernes de préparation des vaccins.*

français que cette maladie bénigne des vaches, transmissible à l'homme, semblait les protéger contre la variole, en fit l'expérimentation systématique et démontra irréfutablement que l'inoculation de la vaccine, qui ne cause chez l'homme qu'une légère lésion locale, protégeait efficacement contre la redoutable variole, dont la mortalité restait de 20 à 80 %.

La vaccination antivariolique fut progressivement adoptée par tous les pays civilisés, mais il s'écoula près d'un siècle avant que d'autres méthodes, pour créer la résistance aux maladies infectieuses, viennent donner naissance au principe systématique des vaccinations.

C'est Louis Pasteur qui, en 1880, à la suite d'une observation fortuite, s'engagea sur la voie de l'atténuation des germes. Il avait observé qu'une culture vieillie du microbe du choléra des poules devenait incapable de communiquer la maladie à ces volatiles, mais les rendait résistantes à une inoculation de culture fraîche, régulièrement mortelle pour les sujets qui n'avaient pas préalablement reçu la culture atténuée. Le problème consistait alors à trouver pour chaque germe infectieux la méthode qui permettrait d'obtenir régulièrement et sans danger le degré d'atténuation assurant la protection contre la maladie. En effet, et quel que soit le germe ou la méthode d'atténuation considérée, le résultat n'est obtenu qu'à l'intérieur d'un paramètre assez étroit : insuffisamment atténué, le germe reste virulent, trop inactivé, il ne protège plus.

Pasteur et ses collaborateurs surent mettre au point les techniques adaptées à chacun de leurs essais, et qui restent valables pour le choléra des poules, le charbon des herbivores, le rouget des porcs, la péripneumonie des bovidés. Le triomphe de Pasteur culmina lorsqu'en 1885, il réussit, après la vaccination du chien contre la rage, à protéger l'homme contre l'infection rabique régulièrement mortelle en mettant à profit la longueur de l'incubation du mal pour protéger les mordus par des injections de moelle de lapin rabique atténuées par la dessiccation et injectées en séries de virulence croissante.

En 1897, le bactériologiste britannique sir Almroth Wright montrait que des bactéries, non plus atténuées, mais tuées, étaient, à condition d'en injecter une quantité suffisante, capables d'immuniser contre la maladie. Appliquée tout d'abord à la lutte contre les fièvres typhoïdes, la méthode fut appliquée à bien d'autres germes bactériens, mais avec des succès variables.

En 1924, Gaston Ramon, en France, démontrait que les *toxines* microbiennes pouvaient, sous l'influence de la chaleur et du formol, être transformées en un produit stable, antigénique et inoffensif, l'*anatoxine*, capable de vacciner efficacement contre la diphtérie et contre le tétanos.

C'est aussi en 1924 qu'étaient rapportés à l'Académie de Médecine les résultats de longues recherches poursuivies depuis 1908 par Calmette et Guérin avec un bacille tuberculeux bovin atténué, le BCG, pour protéger l'homme contre la tuberculose.

Progressivement se généralisaient les vaccinations contre les maladies bactériennes, mais la variole et la rage exceptées, toutes les maladies à virus résistaient aux tentatives d'en atténuer le germe pour en tirer un vaccin.

Alors que la fièvre jaune reculait régulièrement en Amérique par l'application des mesures anti-moustiques dans les villes, une grave épidémie africaine devait permettre d'en obtenir un vaccin, d'abord par l'adaptation à la souris (Sellards et Laigret, 1932), puis par mutation dans l'œuf de poule incubé (Theiler et Smith, 1937). Les maladies à virus successivement vaincues par la vaccination furent la grippe (1943-1957), la poliomyélite (1954-1955), la rougeole (1959), la rubéole (1966), pour ne citer que les plus importantes.

Avec l'évolution des techniques et l'introduction des méthodes récentes de fractionnement et d'atténuation des antigènes, on peut dire qu'en règle générale tout agent infectieux qui peut être isolé, caractérisé et cultivé est potentiellement un vaccin. Depuis la décennie 1955-1966, la phase des tentatives expérimentales de préparation des vaccins est achevée, et l'ère industrielle est ouverte.

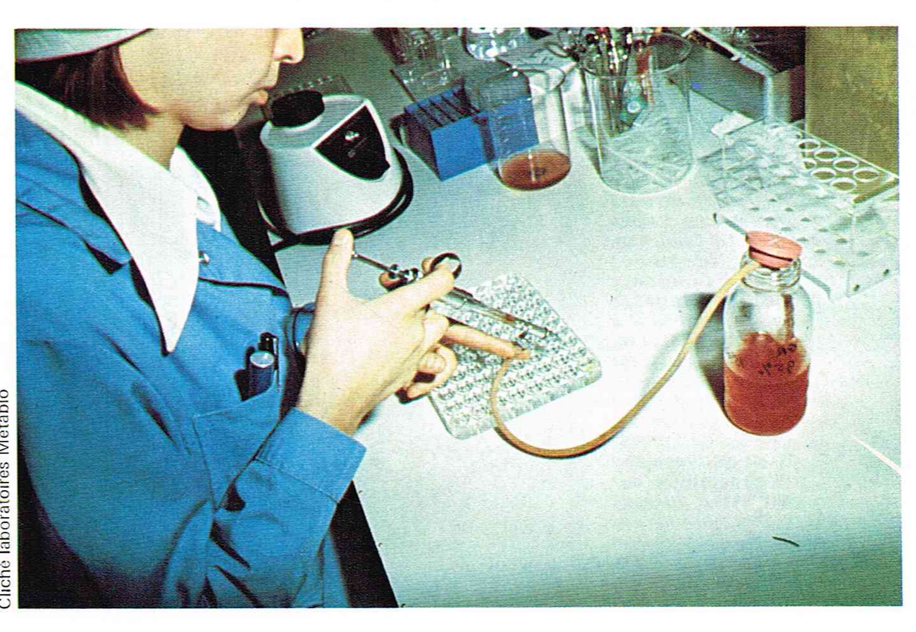
## Principe des vaccinations

Les vaccinations ont pour but d'établir dans un organisme donné, homme ou animal, un état réfractaire à l'infection analogue à celui que donnerait à cet organisme une maladie naturelle victorieusement surmontée.

L'expérience montre que si l'individu a reçu un *antigène* (et les bactéries ou les virus sont des antigènes parmi une infinité d'autres), l'organisme vivant réagit par la formation d'*anticorps* généralement identifiables dans le sang circulant et localisés en majeure partie sinon en totalité dans la zone dite gamma des globulines du sérum, d'où le terme général de *gamma-globulines* appliqué à la fraction du sérum isolable par électrophorèse ou par précipitation fractionnée qui renferme des anticorps.

Ces anticorps sont spécifiques, c'est-à-dire qu'ils n'agissent que sur l'antigène correspondant, et ils sont capables de neutraliser *in vitro* l'antigène qui a provoqué leur apparition. Cette réaction de neutralisation peut être

▼ *Les méthodes de titrage* in vitro, *pour lesquelles on emploie des plaques de perspex à godets que l'on remplit avec les réactifs, permettent, en rendant visibles les réactions antigène-anticorps, de titrer la virulence d'un antigène, de mesurer le niveau des anticorps d'un sérum, de contrôler la spécificité d'un germe, etc.*


Cliché laboratoires Métabio

mise en évidence de différentes manières (titrage de la virulence résiduelle, déviation du complément, floculation initiale, immuno-électrophorèse, immuno-fluorescence, marquage isotopique, etc.) directes ou indirectes, permet d'identifier et de doser les anticorps, de suivre l'immunisation d'un sujet par la maladie ou la vaccination et de contrôler la persistance de son immunité.

La durée de persistance des anticorps, témoins de l'immunité, est extrêmement variable, en relation avec la durée de l'immunité de la maladie naturelle et la qualité de l'antigène reçu. La durée de protection peut ainsi soit s'étendre sur de très nombreuses années (fièvre jaune), ne durer que quelques années seulement (variole, tétanos), un an (grippe), voire quelques semaines à deux ou trois mois (choléra).

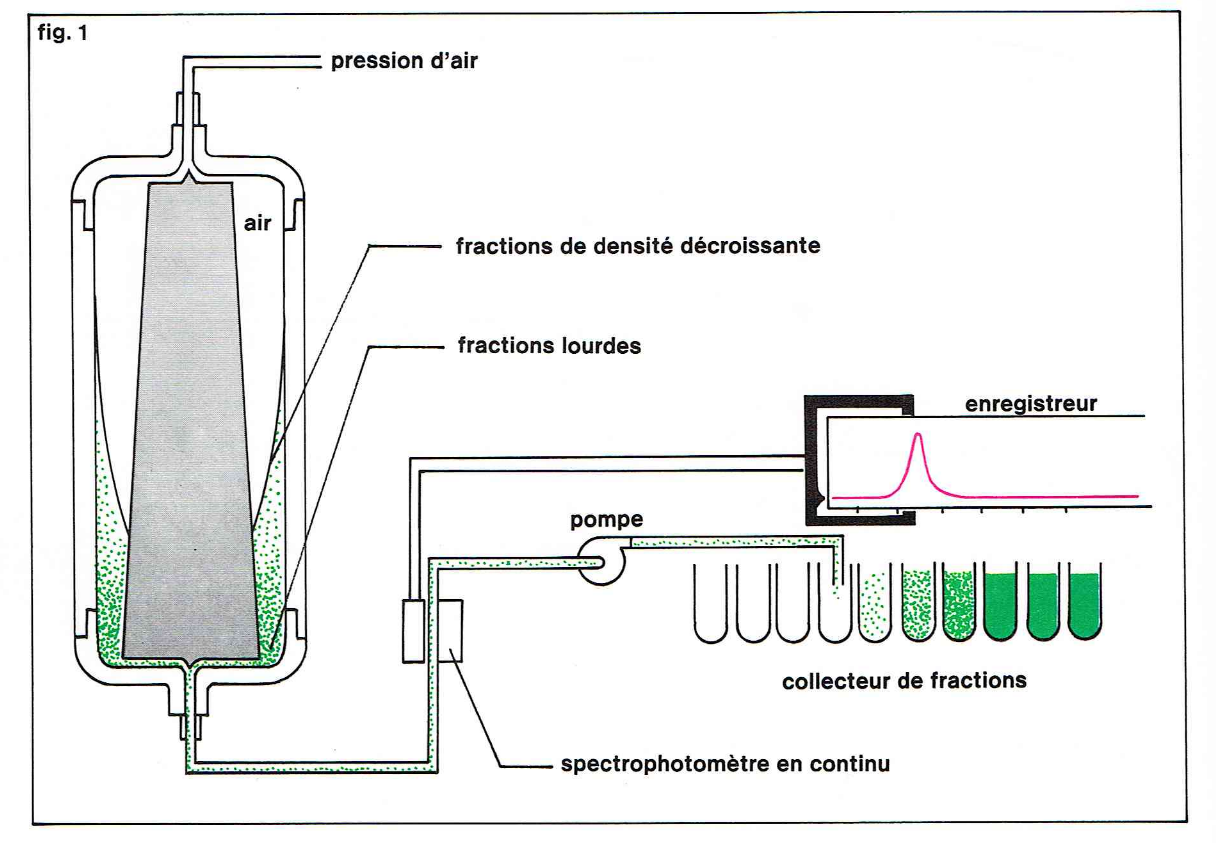
Lorsqu'une vaccination a été correctement pratiquée, et qu'après le délai habituel à ce type de vaccination le niveau des anticorps commence à baisser, une seule injection, dite *de rappel*, suffit à relever rapidement, parfois en 48 heures, les anticorps à un niveau efficace. D'où l'intérêt pour l'entretien de l'immunité des injections systématiques de rappel dans les délais que l'expérience portant sur des milliers d'observations a permis d'établir avec une précision suffisante. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a ainsi fixé pour chaque vaccination exigible internationalement un délai correspondant (six mois pour le choléra, trois ans pour la variole, dix ans pour la fièvre jaune), qui fixe les durées administratives de la validité des certificats internationaux.

Le dosage des anticorps circulants permet généralement de mesurer avec précision le degré de protection assuré contre les maladies, principalement celles dues à des germes qui envahissent l'organisme par le courant sanguin et que la présence des anticorps suffit à arrêter.

Il n'en n'est pas de même dans certaines maladies du système nerveux, dont la rage est le type. En ce cas, l'immunisation fait bien apparaître des anticorps circulants témoins de la réaction de l'organisme à l'antigène, mais ils ne suffisent pas toujours pour assurer l'état réfractaire du système nerveux. Celui-ci paraît être essentiellement sous la dépendance de certains lymphocytes (lymphocytes T, originaires du thymus) dont l'état de résistance peut être apprécié par la transformation blastique (formation de rosettes) *in vitro* au contact de l'antigène. Si l'acquisition de l'état réfractaire par les lymphocytes T s'accompagne toujours de l'apparition des anticorps circulants, la réciproque peut n'être pas vraie, l'aptitude à sensibiliser les lymphocytes T étant, en particulier et outre la qualité de l'antigène administré, sous la dépendance de facteurs individuels ou génétiques, souvent difficiles à apprécier.

D'autre part, il existe des infections (par exemple les maladies éruptives de l'enfance) pour lesquelles les anticorps circulants, témoins de l'immunité, peuvent disparaître du sang pour un certain nombre d'années sans que l'état d'immunité ait complètement disparu. Il est probable qu'en cas de réinfection par le germe causal, le début de la multiplication de ceux-ci agisse par effet de rappel et provoque une rapide remontée des anticorps à un titre suffisant pour protéger l'organisme avant la fin de la période d'incubation de la maladie.

Enfin, les anticorps qui apparaissent dans le sérum de certains sujets sans que ceux-ci aient à aucun moment présenté de signe d'infection, anticorps auxquels on attribue l'immunité « naturelle » à l'infection, sont toujours l'effet d'infections inapparentes immunisantes, relevant de contaminations latentes par des germes, souvent très atténués, en circulation dans l'environnement des sujets en apparence spontanément immunisés. C'est le cas, par exemple, dans la poliomyélite, où l'on observe, en particulier chez les enfants du tiers monde vivant dans des conditions d'hygiène précaires, l'apparition successive dès la première enfance d'anticorps contre chacun des trois types du virus poliomyélitique. Il suffit que la même population soit placée dans des conditions d'hygiène et d'environnement satisfaisantes pour que l'on n'observe plus l'apparition de cette immunité dite « naturelle ». D'où l'infection clinique à un âge plus avancé et de gravité croissante de la poliomyélite observée au fur et à mesure des progrès de l'hygiène, et l'impérieuse nécessité d'une vaccination précoce des enfants dans les pays évolués. De même, les Africains passent pour avoir une immunité naturelle à la fièvre jaune, qui est en réalité la traduction des infections bénignes du jeune âge en milieu endémique. Il suffit que les enfants africains naissent et grandissent dans des régions indemnes de fièvre jaune pour que leur sensibilité au virus soit aussi grande que celle des Européens de race blanche. La vaccination a précisément pour objet de faire apparaître chez les sujets non protégés l'état d'immunité qu'en région d'endémie les populations acquièrent spontanément mais au risque d'infections cliniques ou d'épidémies.




▶ ***Figure 1 : schéma de principe de la centrifugation en gradient de densité. Suspendues dans une solution de densité croissante du bas vers le haut (sucrose, chlorure de césium) à l'intérieur d'une centrifugeuse tournant à grande vitesse, on peut isoler des fractions renfermant exclusivement le produit que l'on recherche. Un collecteur de fractions et un enregistreur de densité optique en continu permettent de contrôler l'opération (d'après George B. Cline, University of Alabama, Birmingham, Alabama).***

## Types et catégories de vaccins

Considérés selon la nature de l'antigène formant leur principe actif, les vaccins peuvent être divisés en vaccins contre les maladies bactériennes (tuberculose, typhoïde, dysenterie, méningite, coqueluche), contre les maladies à microbes toxigènes (diphtérie, tétanos, botulisme), et enfin contre les maladies causées par des virus (grippe, rage, poliomyélite). Chacun de ces trois groupes principaux de vaccins correspond à une technologie particulière.

Dans chacun de ces groupes, les vaccins peuvent être soit à germes tués ou inactivés, soit à germes vivants ou atténués. Si l'agent pathogène agit par sa toxine, on dirige contre lui une vaccination anatoxique. Enfin on qualifie souvent de vaccins chimiques des vaccins dont le principe actif est non pas l'ensemble du germe pathogène, mais une fraction particulière extraite du corps bactérien ou du virion par des méthodes chimiques (détersifs) ou physiques (ultrasons). Ces fractions (comme celles obtenues en fractionnant les virus) sont séparées par divers procédés, parmi lesquels la centrifugation en gradient de densité, dite centrifugation zonale, offre un haut rendement à une production industrielle (*fig.* 1).

D'autre part, du point de vue de l'application pratique et de la réglementation, il faut considérer trois sortes de vaccinations : les *vaccinations obligatoires* imposées par la loi à tous les citoyens ou à certaines catégories d'entre eux, les *vaccinations facultatives* dont l'initiative est laissée au médecin en fonction des indications propres à chaque cas, et les *vaccinations potentielles* correspondant à des vaccins à l'étude, dont la production est souhaitable ou envisagée mais qui n'ont pas encore atteint le stade de la libre production ni de l'emploi généralisé.

## Vaccins bactériens tués

La première condition pour préparer un vaccin bactérien est d'obtenir en culture et, à l'état pur, le germe que l'on veut transformer en vaccin. Les méthodes classiques partent du matériel contaminé (sang, pus, expectoration, organes prélevés à l'autopsie, etc.) que l'on ensemence, après dilution convenable, sur un milieu solide sélectif (gélose au sang, par exemple) pour obtenir des colonies séparées développées à partir d'un seul microbe. Celui-ci est repiqué, sa pureté vérifiée à l'aide de nouvelles dilutions, contrôlé quant à sa spécifité au moyen de sérum neutralisant ou agglutinant, puis soumis à des épreuves d'antigénicité. En effet, dans une population microbienne, tous les descendants des bactéries originelles n'ont au même degré ni la virulence, ni l'aptitude à provoquer un titre élevé d'anticorps chez l'animal auquel on les inocule.

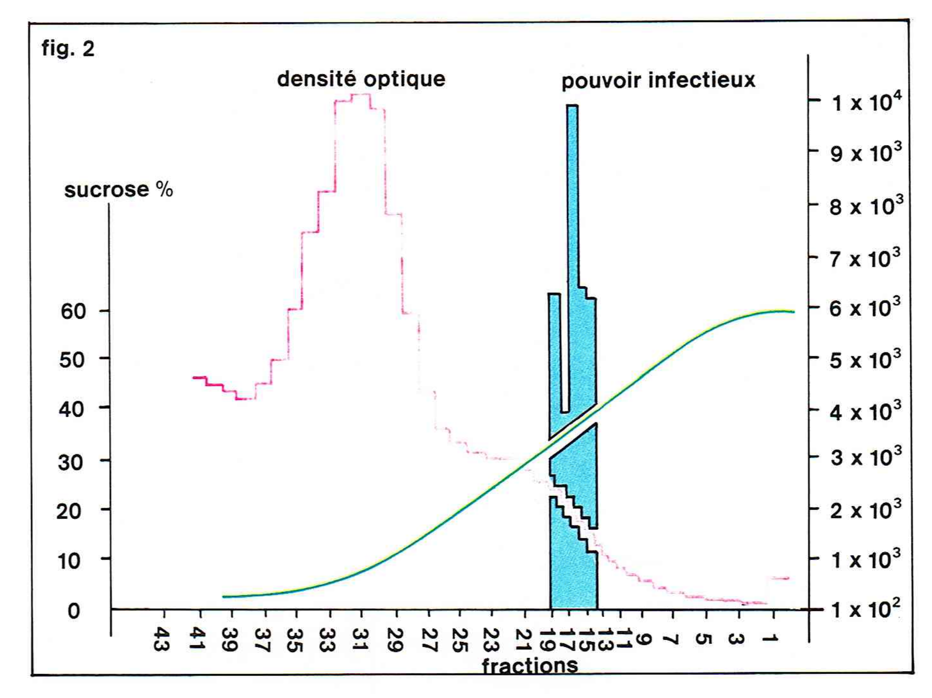
On sélectionne ainsi une ou des souches de microbes qui sont choisies suivant les cas pour leur meilleure antigénicité, leur aptitude à la production de toxines, leur identité génétique et antigénique avec l'agent en cause dans l'épidémie à combattre.

La souche retenue est stockée après ensemencement sur un milieu de réserve et dans des conditions assurant sa meilleure conservation (froid, dessiccation, etc.). Un échantillon en est remis à la Collection nationale des types microbiens qui en vérifie les caractères lorsque l'autorité nationale de contrôle n'impose pas le choix d'une souche microbienne déjà connue et éprouvée.

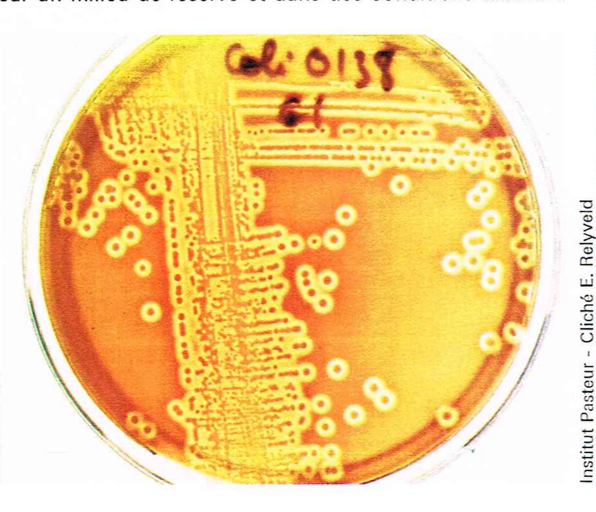
Les milieux de production sont ensemencés à partir de précultures tirées des souches types. Ces précultures, assimilables aux « pieds de cuve » des industries de fermentation, servent à leur tour à ensemencer largement les milieux où le germe sera récolté. La culture en boîte de Roux, abandonnée pour la culture en milieu liquide en flacons, est maintenant partout remplacée par la culture en fermenteurs, récipients de vaste capacité en verre ou en acier inoxydable où les conditions les plus favorables à la multiplication du germe (composition du milieu, température, pH, oxygénation ou anaérobiose, agitation) sont maintenues automatiquement.

On s'efforce d'obtenir ainsi le meilleur développement dans le minimum de temps, ceci autant pour augmenter le rendement que pour réduire les chances de mutation du germe au cours de sa multiplication. Les microbes sont récoltés dès que leur concentration aborde le plateau qui termine la courbe logarithmique de croissance (*fig.* 3).

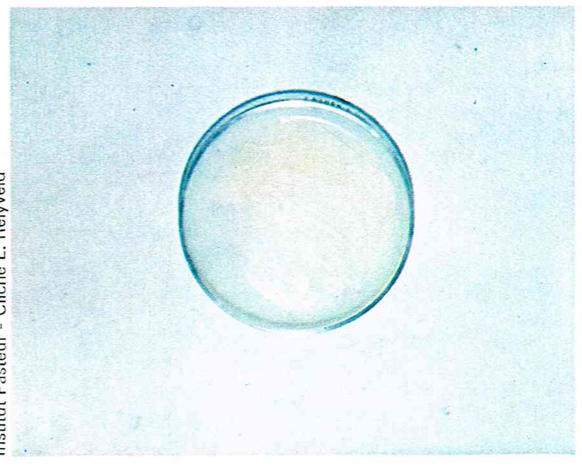
Les bactéries sont alors séparées des milieux de culture, généralement par centrification, et remises en suspension dans un milieu neutre isotonique, puis inactivées. Cette inactivation est obtenue par différentes techniques propres à chaque fabrication : chauffage (méthode la plus courante), action des rayons ultraviolets, addition d'antiseptiques (formol le plus souvent, parfois phénol ou alcool) ou d'un inhibiteur se détruisant en se combinant




▲ ***Figure 2 : résultat d'une séparation de l'antigène rabique dans un milieu complexe au moyen de la centrifugation en gradient de densité. On voit que la densité optique maximale rassemblant des éléments étrangers au vaccin se situe en un point différent de la fraction renfermant l'antigène spécifique (fractions 19 à 14). On peut ainsi obtenir par simple centrifugation un degré de purification très poussé de l'antigène (courbe de J. F. Lavender et R. M. Van Frank,* Applied Microbiology, *1971, vol. 22, p. 361).***



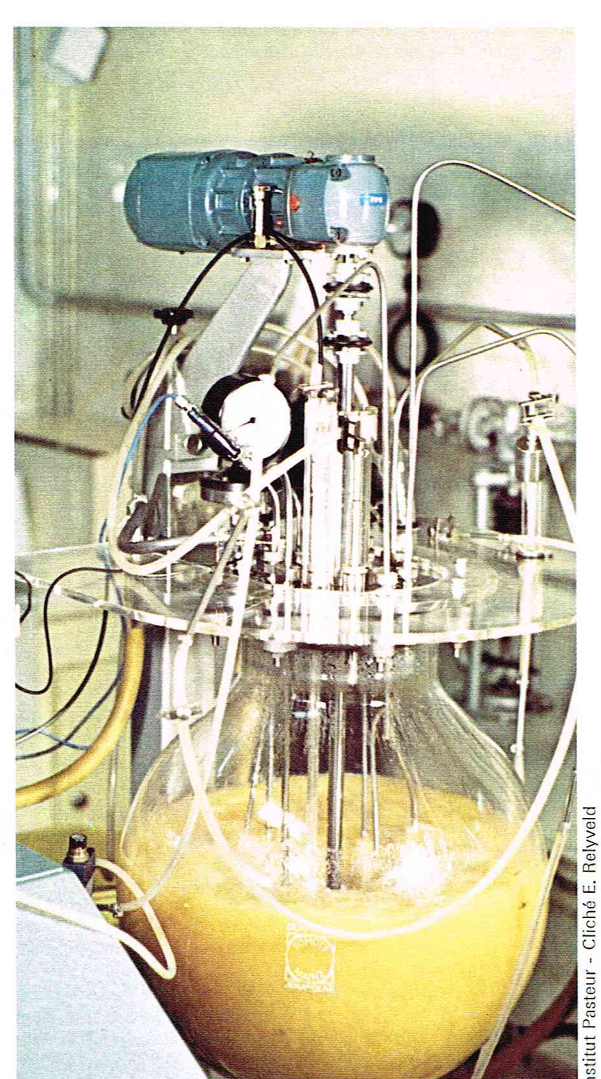
Document Ifra



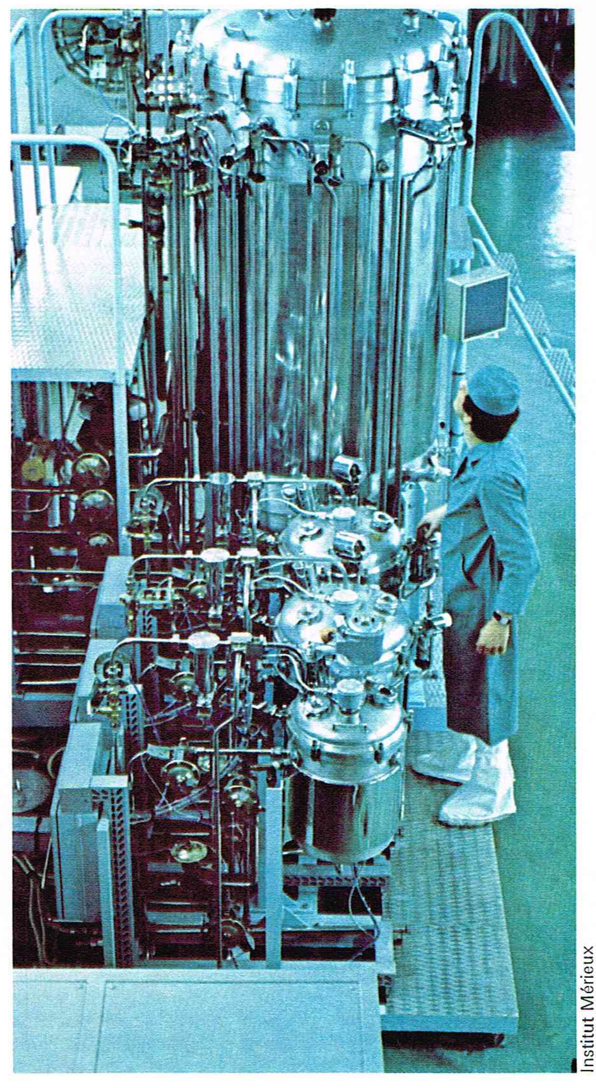
Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

◀ ***Boîte de Pétri ensemencée avec une dilution croissante d'une culture microbienne. On voit les colonnes isolées produites à partir d'un seul microbe, permettant la sélection d'un clone microbien. Culture pure obtenue à partir d'un microbe sélectionné par la méthode des dilutions.***

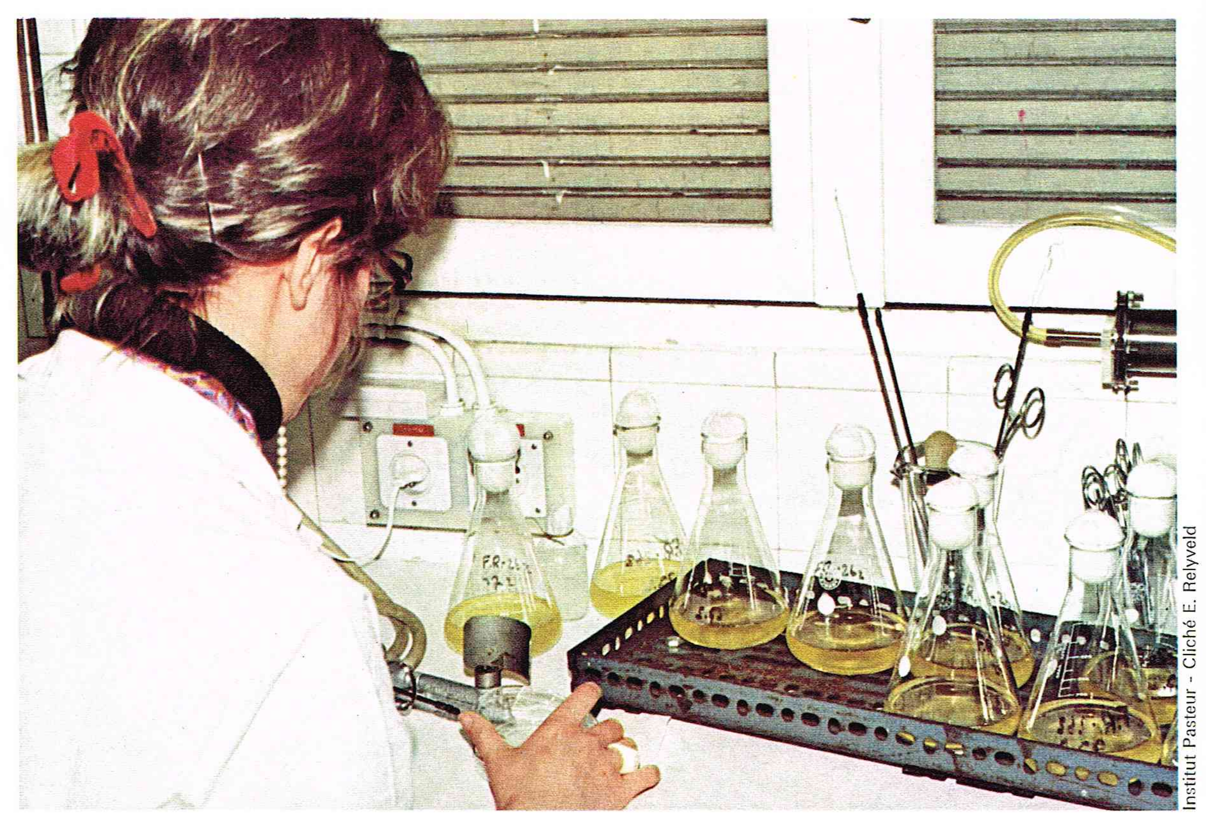
▶ *A gauche, fermenteur en verre pour culture microbienne en masse. On voit au sommet de la sphère en verre d'Iéna le moteur qui assure l'agitation du milieu, les tubes qui contrôlent l'arrivée du milieu de culture, l'alimentation en oxygène, le maintien du pH, etc. A droite, culture de germes microbiens en cuves de plusieurs centaines de litres. Du ballon de verre de 100 litres on est passé à la cuve en inox de 1 000 litres, avec contrôle électronique de tous les paramètres, résultat obtenu en dix ans de recherches conjointes de l'O. M. S. et de l'institut Rockefeller, relayés par les usines de production industrielle. C'est ainsi que l'institut Mérieux a pu, en 1974-1975, faire face à la production nécessaire pour vacciner 80 millions de Brésiliens atteints par une épidémie de méningite cérébrospinale.*



Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

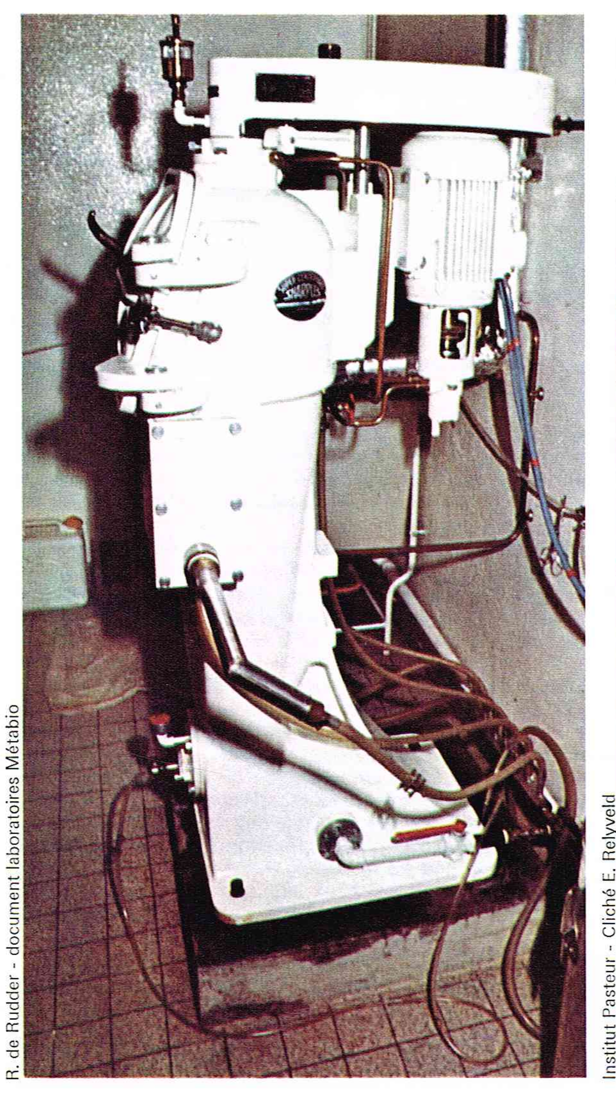


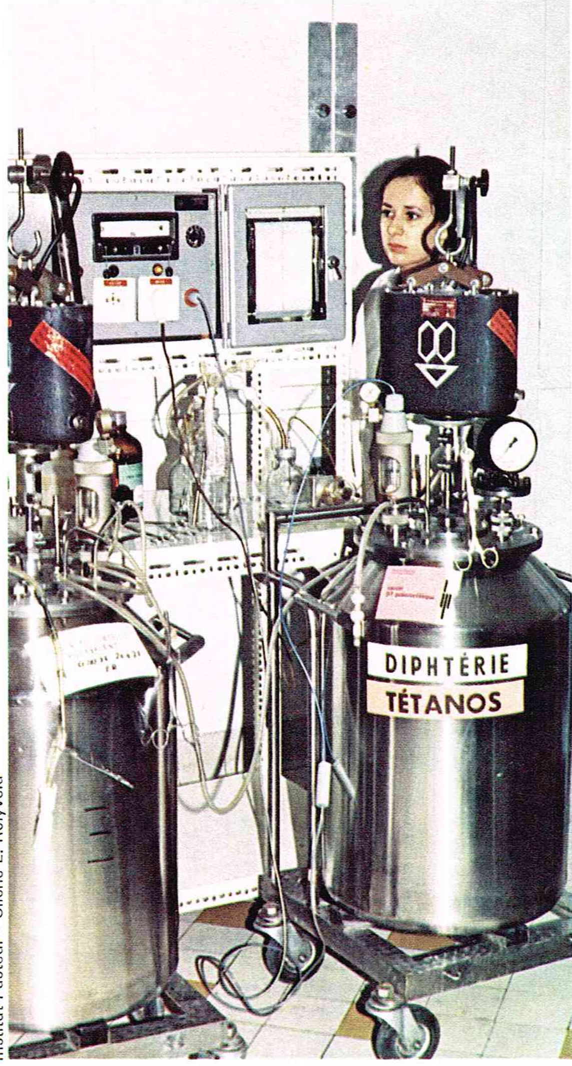
Institut Mérieux



Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

▶ *Préparation de la préculture qui servira à ensemencer une cuve de fermentation. A partir d'une culture pure, on ensemence le germe dans des fioles d'Erlenmeyer qui donneront une culture concentrée, laquelle servira à ensemencer la cuve de fermentation.*


R. de Rudder - document laboratoires Métabio



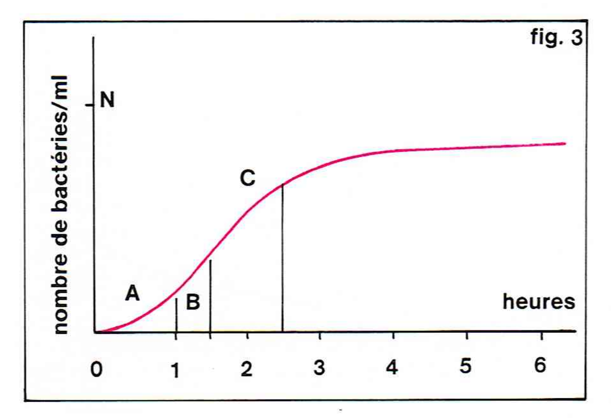
Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

◀ *A gauche, centrifugeuse Sharpless. La culture microbienne est injectée dans le bol vertical d'une centrifugeuse tournant à très grande vitesse. Les microbes sont collectés sur la paroi du bol tournant qu'il suffit, après avoir fait passer plusieurs centaines de litres de culture, de rincer avec un milieu isotonique pour recueillir une culture concentrée et purifiée. A droite, préparation moderne des vaccins anatoxiques associés, purifiés et adsorbés. Les bonbonnes d'anatoxine reçoivent un facteur adsorbant (phosphate de calcium) sur lequel se fixent les antigènes (diphtérie, tétanos, poliomyélite), ce qui permet de préparer des vaccins polyvalents associés purifiés et très concentrés, où chaque antigène n'occupe qu'une fraction du volume total de 1 ml correspondant à la dose vaccinante.*

aux protéines (bêta-propiolactone), cette dernière méthode donnant un produit final très pur et de bonne antigénicité.

La concentration du vaccin est finalement ajustée par néphélométrie, contrôlée au moyen de comptages électroniques, à la quantité de germes par millilitre désirée, et répartie stérilement en ampoules correspondant à une dose, généralement de l'ordre du millilitre.

On a essayé, pour des vaccins dont l'antigénicité reste malgré tout faible, et le pouvoir vaccinant parfois aléatoire (choléra, peste), de fractionner la cellule bactérienne et d'en extraire les constituants (ribosomes, antigènes flagellaires, fractions glyco-protéiques) ayant un pouvoir antigénique plus élevé et plus spécifique. Les résultats obtenus jusqu'ici, quoique prometteurs, ne se sont pas encore imposés, et ces techniques demandent de nouvelles études.




◀ *Figure 3 : courbe donnée par un opacimètre enregistreur (microbio-photomètre Michel Faguet) de la croissance d'un microbe dans un milieu liquide. La croissance débute par une* **phase de latence**, *qui est la période comprise entre l'instant de l'ensemencement et le moment où le taux de croissance devient constant. C'est à ce moment que débute la* **phase exponentielle**. *Elle se poursuit jusqu'au moment où, du fait de certains facteurs (appauvrissement de la culture en divers éléments, accumulation dans la culture de substances toxiques produites par ladite culture elle-même, etc.), le taux de croissance commence à diminuer et finit par s'annuler : c'est la* **phase stationnaire**, *elle-même suivie par une* **phase de décroissance**. *L'étude de la courbe ci-dessus permet de situer l'intervalle correspondant à la phase exponentielle. Ainsi, la portion de la courbe située entre* **B** *et* **C** *est comprise dans cette phase. Pour préparer un vaccin, on arrêtera la culture au point C qui contient le maximum d'éléments jeunes en phase de reproduction.*

Cependant de bonnes méthodes de fractionnement permettent maintenant d'arriver à préparer des vaccins efficaces contre les germes de maladies respiratoires (vaccins ribosomaux), contre les pneumocoques ou contre les méningocoques. Il est même possible avec de tels vaccins d'arriver à immuniser en injectant au sujet à vacciner une quantité de protéines qui n'excède pas 40 microgrammes : le perfectionnement de ces méthodes domine de toute évidence l'avenir des vaccins bactériens.

## Vaccins anatoxiques

Lorsque l'élément vaccinant est, non pas le corps microbien, mais la toxine sécrétée par la bactérie, à la fin de la culture en milieu liquide et lorsque la production de toxine atteint son acmé, on sépare les microbes du milieu par filtration sur bougies qui ne laissent passer que la toxine. Celle-ci est alors additionnée de formol selon la technique de Ramon, et incubée jusqu'à sa transformation complète en anatoxine, ce qui est contrôlé par l'inoculation de doses élevées à des cobayes qui doivent demeurer indemnes. Le titre en anatoxine est calculé par la méthode de la floculation initiale au contact de dilutions d'un sérum spécifique. Les anatoxines sont de bons antigènes, particulièrement stables.

## Vaccins bactériens atténués

La plupart des vaccins bactériens sont tués : l'organisme réagit par la formation d'anticorps à l'introduction de l'antigène bactérien.

Mais il est des germes contre lesquels il s'immunise mal, sa résistance ne se manifestant que tant que des germes sont présents dans l'organisme : si cet organisme est stérilisé, sa susceptibilité réapparaît, et la réinfection reste



Institut Pasteur - P. Lépine

*▲ Culture du virus polio en flacons plats de 5 litres. L'opératrice vérifie au microscope le développement de la couche monocellulaire de cellules rénales de singe. Lorsque le tapis cellulaire est continu, on ensemence avec le poliovirus.*

*▶ Page ci-contre, en haut, dans une chambre étuve de vaste dimension, les flacons ensemencés avec le virus sont placés côte à côte sur des plateaux qu'un moteur électrique anime d'un mouvement lent d'agitation. On hâte ainsi la libération du virus poliomyélitique dans le milieu de culture qui sera recueilli après la destruction du tapis cellulaire.*

possible. Dans de telles maladies, la vaccination est remplacée par la *prémunition*, c'est-à-dire par l'infection préalable et volontaire de l'organisme par un germe très atténué, ne déterminant pas de réactions pathologiques mais qui, par sa seule présence, oppose une barrière à l'implantation de germes virulents. Le cas le plus connu de maladies à prémunition est celui de la tuberculose et de sa prévention par le BCG. Chez l'homme, on peut encore citer la peste et le vaccin préparé avec la souche EV atténuée du bacille pesteux (employé surtout à Madagascar) et le vaccin atténué contre la tularémie utilisé en URSS.

Il va de soi que de tels vaccins ne peuvent être préparés qu'à partir de souches rigoureusement contrôlées, soigneusement entretenues et dont les propriétés comme l'innocuité ont fait l'objet de longues recherches. En règle générale, la licence de fabrication de tels vaccins n'est accordée qu'à des laboratoires présentant toutes les garanties qui ont été strictement codifiées par l'OMS. Ces vaccins présentent en outre une fragilité sous l'influence des agents physiques (chaleur, lumière) et une date rapprochée de péremption qui interdisent pratiquement tout stockage prolongé.

## Vaccins à virus inactivés

Les mêmes principes généraux que pour les vaccins bactériens tués président à la conception des vaccins à virus atténués, mais avec des techniques de production sensiblement différentes et des manipulations beaucoup plus délicates.

L'isolement d'une souche virale se fait le plus souvent par inoculation du matériel pathologique à un animal sensible, parfois choisi à l'origine pour orienter un diagnostic incertain. On s'assure ensuite de l'innocuité et de la pureté de la souche par des passages successifs et par la mise en culture sur cellules sensibles (dites permissives).

Les techniques de cultures des virus sont de mise au point récente. Pendant longtemps, on n'a pu entretenir les virus, qui ne poussent pas sur les milieux bactériologiques usuels, que par passages continus sur l'animal sensible. Faute de culture on se servait du matériel animal comme d'un flacon de culture : moelle de lapin, puis cerveau du mouton pour la préparation du vaccin antirabique, cerveau de souris pour celle du vaccin contre la fièvre jaune (vaccin dit « de Dakar ») ou contre la dengue. Ces techniques sont aujourd'hui pratiquement abandonnées ou en voie de l'être : les vaccins produits sur l'animal renferment, à côté de l'antigène vaccinal en quantités pondérales infimes, une masse de produits étrangers surtout protidiques provenant de l'animal et dont l'injection à l'homme est inutile, parfois dangereuse.

Les virus, dont l'équipement enzymatique est incomplet, ne peuvent se reproduire que dans des cellules vivantes et à leurs dépens. C'est le développement, à partir de 1950, des méthodes de cultures cellulaires qui a rendu possible la culture *in vitro* sur une grande échelle de très nombreux virus, aujourd'hui à la base de la production des vaccins viraux.

Schématiquement, la culture d'un virus aboutissant à la production d'un vaccin se fait en plusieurs temps.

Dans un premier temps, on ensemence des cellules sensibles (obtenues isolées ou en petits amas confluents par une trypsination préalable) dans un récipient approprié et dans un milieu complexe renfermant les facteurs nutritifs (acides aminés, vitamines, oligo-éléments) additionnés d'une quantité de sérum animal jeune (sérum de poulain, sérum ultrafiltré de veau, albumine sérique humaine) destiné à stimuler le départ de la culture et la multiplication cellulaire. Les cellules, déposées sur la surface interne du récipient, poussent lentement. Il est parfois nécessaire de renouveler le milieu après quelques jours.

Au bout d'une semaine environ, les cellules se sont multipliées et forment un tapis monocellulaire continu. A ce moment, on retire le liquide de croissance et on le remplace par un milieu pauvre, sans sérum, destiné à assurer quelques jours la survie des cellules, et on ajoute le virus provenant d'une précédente récolte : c'est le deuxième temps de la culture.

Après peu de jours, deux à quatre en général, le virus qui a infecté les cellules s'y est multiplié et a déterminé leur mort en créant le plus souvent des lésions cellulaires caractéristiques (effet cytopathique). On récolte alors, dans un troisième temps, le liquide surnageant, qui présente un titre de virulence élevé, et on inactive le virus par une technique qui n'en dénature pas le fragile antigène. L'action de la chaleur est généralement nuisible. On lui préfère soit le formol à faible dose agissant trois jours à l'étuve ou une vingtaine de jours à la glacière, soit la bêta-propiolactone dont l'action est immédiate et qui ménage le pouvoir antigénique. L'acide phénique a été employé pour inactiver le virus rabique, les rayons UV pour le virus herpétique.

Le véritable problème consiste à obtenir de grandes quantités de cellules permettant de recueillir un volume suffisant de milieu virulent pour que le vaccin puisse être produit aseptiquement avec un minimum de manipulations.

Trois types de cultures cellulaires sont susceptibles d'aboutir à la production d'une grande masse de cellules. Ce sont :

1 - les cultures de première explantation ;
2 - les cultures de cellules diploïdes ;
3 - les cultures de cellules en lignée continue.

Seules les cultures du troisième type se prêtent à une culture en suspension libre, dans des récipients de grande capacité où le milieu de culture est soumis à une régulation automatique comme pour la culture des bactéries. Mais il s'agit toujours soit de lignées cellulaires établies à partir de tumeurs cancéreuses, de caractère nettement pathologique (par exemple, la lignée Hela établie à partir du cancer utérin d'une malade), soit de cellules humaines ou animales obtenues en lignée continue (par exemple, la lignée BHK de cellules de hamster), cellules qui peuvent croître indéfiniment. Toutes ces cellules ont perdu l'inhibition de contact qui fait que des cellules venant à s'affronter arrêtent leur croissance, et présentent des polyploïdies ou des anomalies des chromosomes, bref des caractères néoplasiques. De telles cellules, même inactivées, sont jugées impropres à la préparation de vaccins destinés à l'homme et ne sont tolérées parfois que pour des animaux dont la vie économique de courte durée fait qu'ils seront sacrifiés avant l'apparition éventuelle de tumeurs.

Seules sont utilisables en pratique les cultures cellulaires des types 1 et 2.

Celles du premier type se font à partir d'organes d'un animal sain, sacrifié pour la récolte, dont les cellules sont obtenues à partir d'un organe prélevé stérilement, haché et trypsiné. Le rein, dont la structure est surtout épithéliale, est l'organe qui se prête le mieux à la mise en culture (rein de singe, de veau, de porc) ; le testicule, la thyroïde, le thymus, le tissu fibreux ne sont guère employés que pour des recherches expérimentales.

Avantages des cellules de première explantation : grande facilité d'obtention, démarrage de la culture facile, exigences en sérum limitées. Inconvénients : possibilité de mise en culture de virus latents de l'animal (virus spumeux des singes, virus B du rhésus, virus des trayeurs chez le mouton, etc.), matériel hétérologue pour l'homme.

Les cellules à utiliser pour la culture des virus en vue de la préparation de vaccins, ne pouvant se multiplier en suspension libre, doivent donc de toute nécessité reposer sur une surface solide où elles se multiplieront jusqu'à rencontrer les cellules voisines et former un tapis cellulaire.

Les premières cultures en masse ont d'abord utilisé les classiques flacons de Roux, récipients aplatis d'environ un litre de capacité, ce qui permet d'étaler environ 250 ml de liquide nutritif sur une des faces du flacon reposant à plat. Très vite, ils ont été remplacés par des flacons à large surface où l'on peut observer la croissance cellulaire au microscope à travers la paroi de verre : la récolte de chaque flacon est d'environ 2,5 litres, soit dix fois plus que dans les flacons de Roux.

Plus récemment, on est passé à la fabrication en cuves de grande capacité à l'intérieur desquelles soit on place des empilements de plateaux de verre espacés de 5 mm environ servant de support aux cellules, soit on remplit l'espace libre avec une masse de billes de plastique offrant aux cellules toute la surface désirable pour se multiplier en masse. Cette dernière technique paraît susceptible de grands développements.



Institut Pasteur - P. Lépine

Depuis quelques années, les cultures du type 2 rencontrent une faveur croissante auprès des laboratoires nationaux. Les cellules diploïdes sont des cellules normales, de l'homme en particulier, souvent des cellules de l'épithélium pulmonaire, qui, mises en culture, pourront normalement se diviser une quarantaine de fois avant de mourir. Un stock de cellules n'ayant subi que peu de divisions est mis à l'état de vie ralentie à très basse température. Pour les besoins de la production, on prélève quelques cellules qui sont mises dans un milieu four-

***▼ Inoculation des œufs : l'inoculateur automatique permet de désinfecter la coquille, de la percer et d'inoculer les virus vivants dans les œufs embryonnés à raison de trois douzaines à la minute.***

Institut Armand-Frappier, Laval des Rapides, Canada

▶ *Prélèvement à la main par aspiration du contenu des œufs ensemencés avec le virus grippal.*



R. de Rudder - document laboratoires Métabio

nissant une croissance rapide, et qui, toutes les 48 heures, sont remises en suspension et réensemencées avant qu'elles aient subi l'arrêt de croissance par inhibition de contact. Le nombre des cellules double à chaque division, et, celles-ci survenant en quelques heures, on obtient une croissance logarithmique qui permet en deux semaines de tapisser d'un lit continu un grand nombre de flacons. Avantages : les cellules sont connues, leur pureté et leurs propriétés éprouvées ; elles forment, dans le cas de vaccins humains, un matériel homologue et sont sensibles à des virus poussant difficilement sur des cellules d'autres espèces (varicelle, rubéole). Inconvénients : manipulations nombreuses et délicates, exigences nutritives assez strictes, croissance malgré tout limitée, volumes recueillis plus faibles que par la précédente méthode. Sur le plan théorique enfin, on peut se demander si l'injection à l'homme d'un matériel d'origine humaine doit nécessairement être inoffensive ; mais rien jusqu'ici ne paraît devoir justifier une telle restriction.

Quelques virus ne se multiplient bien, après y avoir été adaptés, que dans l'œuf de poule fécondé et incubé formant un milieu clos et stérile, dont on récolte par aspiration les liquides amniotique et allantoïdien (grippe, oreillons) ou l'embryon total (fièvre jaune) quelques jours après l'inoculation. La production en masse de ces vaccins est évidemment liée aux contingences de l'approvisionnement en œufs fécondés, ce qui peut poser des problèmes en temps d'épidémie ou de demandes subitement accrues.

## Pratique des vaccinations

Les vaccinations obligatoires sont, en France, dans l'ordre où elles ont été édictées par le législateur :

— la vaccination antivariolique (loi du 15 février 1902) ;

— la vaccination antidiphtérique (loi du 25 juin 1938) ;

— la vaccination antitétanique (loi du 24 septembre 1940) ;

— la vaccination BCG contre la tuberculose (loi du 5 janvier 1950) ;

— la vaccination contre la poliomyélite (loi du 30 janvier 1964).

Cette obligation s'étend à tous les sujets de moins de 20 ans chez lesquels il n'est pas reconnu de contre-indication médicale à la vaccination. Au cas où le médecin décèlerait une contre-indication à la vaccination (prématurité, impétigo, affection fébrile évolutive, maladie organique grave), il doit établir un certificat médical précisant le caractère définitif ou temporaire de la contre-indication, et dans ce dernier cas la durée de celle-ci ne peut dépasser la durée d'un an (arrêté du 10 septembre 1941).

Cette obligation est assortie de sanctions : en vertu de l'article R 26 du Code pénal français, les infractions aux textes concernant les vaccinations obligatoires constituent une contravention de première classe passible d'une amende pénale. La récidive constitue une contravention de deuxième classe aggravant les pénalités.

Enfin l'obligation vaccinale implique en contrepartie la responsabilité de l'État en cas d'accident dû à la pratique de la vaccination. L'article L 10-1 du Code de santé publique précise que « la réparation de tout dommage imputable directement à une vaccination obligatoire pratiquée dans les conditions visées au présent Code et effectuée dans un centre agréé de vaccinations, est supportée par l'État » (loi du 1er juillet 1964). L'article L 10-2 de la loi du 26 mai 1975 a étendu cette couverture aux vaccinations obligatoires lorsqu'elles sont pratiquées par un médecin en dehors d'un centre agréé.

De même, dans les pays du Marché commun, les textes légaux ont prévu la responsabilité des pouvoirs publics pour les dommages éventuels causés par les vaccinations obligatoires, bien que certains pays (Belgique, Italie) n'envisagent cette réparation que si le tribunal civil établit qu'il y a eu faute professionnelle de la part du médecin vaccinateur ou du fabricant du vaccin.

La vaccination anti-typho-paratyphoïdique (bacille d'Eberth, para A et para B) n'est obligatoire que dans l'armée (loi du 14 avril 1936) et dans les professions et établissements ou entreprises exposés à un risque professionnel (loi du 27 août 1938). Elle peut, en temps et en zones d'épidémie, être rendue obligatoire par arrêté préfectoral pour les sujets âgés de 10 à 30 ans. Elle peut être imposée aux sujets reconnus porteurs de germes exerçant une profession ou un commerce où ils peuvent être cause de contagion (alimentation, hôtellerie).



Institut Pasteur production

**Tableau I**
**Chronologie des vaccinations (calendrier de l'Institut Pasteur)**

| | |
|---|---|
| Premiers jours | Vaccination par le B.C.G. |
| Entre le 3e et le 5e mois | Vaccination anticoquelucheuse (1) |
| 6e mois | Vaccination antivariolique |
| Entre le 7e et le 9e mois | Vaccinations associées (2) { antidiphtérique, antitétanique, antipoliomyélitique |
| Entre le 10e et le 12e mois | Vaccination par le B.C.G. si *l'enfant ne l'a pas reçue à la naissance* |
| Entre 15 et 18 mois | Rappel de la vaccination anticoquelucheuse |
| Entre 18 mois et 2 ans | Rappel des vaccinations associées { antidiphtérique, antitétanique, antipoliomyélitique |
| A 2 ans | Vaccination par le B.C.G. si *l'enfant ne l'a pas encore reçue* |
| A partir de 2 ans | Vaccination contre la rougeole<br>Vaccination antitypho-paratyphoïdique (TAB) si *l'enfant vit ou doit se rendre dans un pays d'endémie* |
| A 6 ans | Vaccination obligatoire par le B.C.G. si *l'enfant ne l'a pas encore reçue* |
| A 6 ans | Rappel des vaccinations associées { antidiphtérique, antitétanique, antipoliomyélitique |
| A 10 ans | Revaccination antivariolique |
| A 11 ans | Rappel des vaccinations associées { antitétanique, antipoliomyélitique |
| A 12 ans | *Pour les filles :* vaccination contre la rubéole |
| A 16 ans | Rappel des vaccinations associées { antitétanique, antipoliomyélitique |
| Entre 6 et 20 ans | Rappel de B.C.G. si *la réaction tuberculinique est négative* |
| A 20 ans | Revaccination antivariolique |

(1) Une variante consiste à pratiquer à cette période les vaccinations associées anticoquelucheuse, antidiphtérique et antitétanique, dont l'injection de rappel sera faite entre 15 et 18 mois.
(2) Le vaccin anticoquelucheux, s'il n'a pas été administré entre le 3e et le 5e mois, peut être injecté dans la même séance, mais en un autre point du corps.

## *Calendrier des vaccinations*

La multiplicité des vaccinations, l'obligation légale de pratiquer certaines d'entre elles à des âges déterminés, les règles d'administration de chaque vaccin et la nécessité pour certains de plusieurs interventions imposent dans la pratique vaccinale d'adopter un certain calendrier.

Il est de règle générale d'observer entre les vaccinations, avant de passer d'une vaccination à une autre, un délai minimal de 15 jours à 3 semaines lorsque l'antigène injecté était du type inactivé, et un délai de deux mois lorsque la vaccination est faite avec un agent du type atténué.

Cette règle est justifiée par le fait que, dans le cas d'un vaccin inactivé, l'organisme à vacciner reçoit en une ou plusieurs fois la quantité totale d'antigène à laquelle il réagit immédiatement par l'élaboration d'anticorps. Dans le cas d'un agent atténué, au contraire, on introduit en une seule fois dans l'organisme à vacciner la quantité minimale du germe dont la multiplication ralentie assurera progressivement la réponse de l'organisme : il convient donc de laisser à ce dernier le temps d'élaborer son immunité avant de lui demander un effort supplémentaire pour passer à une autre vaccination.

Enfin, les délais à respecter peuvent être raccourcis à quelques jours lorsqu'il s'agit de procéder à un rappel de vaccination, la réponse de l'organisme étant en ce cas quasi immédiate.

Des considérations d'épidémiologie ou de sécurité conduisent d'autre part à fixer un optimum d'âge et un ordre de priorité aux vaccinations qui s'adressent à l'enfant.

Le législateur a, en 1902, décidé que la primo-vaccination antivariolique devait être pratiquée au cours de la première année de vie. C'est en effet le moment où l'organisme réagit favorablement avec le moindre risque de complications encéphalitiques. Mais on sait aussi que lorsque la mère a été elle-même vaccinée, ses anticorps transmis par voie placentaire à l'enfant protègent celui-ci pendant les premiers mois et font échec à la vaccination. D'où l'habitude de pratiquer celle-ci après le sixième mois et avant la fin de la première année de la vie de l'enfant.

La vaccination BCG doit, selon l'esprit des promoteurs, être pratiquée dès la naissance afin d'intervenir avant toute possibilité de contamination de l'organisme par un bacille virulent. Cette pratique a été longtemps et est encore généralement respectée. Toutefois, avec la réduction à laquelle on assiste de l'endémie tuberculeuse, de nombreux pédiatres estiment que, le nouveau-né vivant dans des conditions d'hygiène et d'environnement satisfaisantes, sa contamination au cours des premiers mois est improbable, et que l'on peut sans risque attendre l'achèvement des autres vaccinations au cours de la première année pour pratiquer ensuite la vaccination BCG avant que l'enfant entre en contact avec le milieu extérieur, c'est-à-dire en tout cas avant l'âge de la fréquentation scolaire. Cette attitude rencontre la faveur croissante des pédiatres.

Il est parfaitement possible d'élaborer un calendrier comportant l'administration successive de chacun des vaccins, qu'ils soient obligatoires ou simplement formellement indiqués (coqueluche, rougeole). Mais, d'une part, cette procédure comporte de multiples interventions par la répétition des actes, et d'autre part elle a de grandes chances d'être bouleversée par des incidents tels que déplacements de voyages, otites ou simples rhumes, voire maladies éruptives, pendant lesquels on s'abstient de vacciner.

***▲ A gauche, fabrication du vaccin grippal. Une fois la culture du virus obtenue après incubation des œufs, la machine ouvre les œufs et en aspire le contenu. Tableau I : chronologie des vaccinations, dit « calendrier de l'Institut Pasteur ».***

▶ *Présentation moderne des vaccins. Le vaccin polyvalent purifié et concentré est enfermé dans une ampoule stérile qui se transforme en seringue. Le capuchon de l'aiguille stérile (en haut) se visse sur le piston de caoutchouc dans le corps de la seringue (en bas), ce qui permet de faire l'injection sans aucune manipulation du vaccin.*




Institut Pasteur - Cliché E. Relyveld

La solution est apportée par les *vaccins associés*, mélanges de vaccins unissant plusieurs antigènes agissant de façon synergique, c'est-à-dire qu'il n'y a pas simple addition mais renforcement de l'effet vaccinal d'un antigène par un autre. La technique de préparation de ces vaccins doit donc tenir compte, non seulement du volume total à injecter, lequel doit rester minime, mais des interactions possibles des antigènes, certaines associations exerçant non pas un effet synergique mais une réciproque action dépressive sur la réponse immunitaire.

On associe couramment et sans problème les anatoxines (diphtérie et tétanos : vaccin DT) et facilement celles-ci avec l'antigène coquelucheux (DTC). Mais la technique est déjà plus délicate lorsque l'on veut réaliser un vaccin quadruple (DTC-polio couramment utilisé au Canada), car le vaccin polio est lui-même déjà un vaccin associant trois types antigéniques différents.

Enfin, si l'on considère que la vaccination contre la coqueluche, bien que non obligatoire, est celle dont la nécessité apparaît la plus évidente chez le très jeune enfant chez qui la maladie est l'une des causes principales de décès, alors que les chances de contracter la poliomyélite ou le tétanos sont très réduites à cet âge si la mère a été elle-même vaccinée, les pédiatres sont conduits à considérer la vaccination coquelucheuse comme de première urgence, à pratiquer isolément, les vaccinations associées étant reportées après le sixième mois.

C'est la technique résumée dans le schéma de vaccinations dit « calendrier de l'Institut Pasteur » (*tabl.* I) établi d'après les recommandations de l'Académie de Médecine (1965). Ce tableau couvre les indications actuelles des vaccinations pour les sujets vivant en métropole.

Au-delà de 20 ans, on ne pratiquera plus que tous les 8 à 10 ans des rappels avec l'association polio-anatoxine T, qui ne donne lieu à aucune réaction, ou encore en pratiquant tous les 10 ans une injection d'ana-T, et en donnant tous les 5 ou 6 ans un rappel de polio atténué par voie orale.

Il y a lieu d'y ajouter, en cas de voyage ou de séjour en région d'endémie amarile (Afrique intertropicale, régions de jungle en Amérique centrale et du Sud), la vaccination contre la fièvre jaune, et épisodiquement, en cas d'épidémie, celle contre le choléra. La vaccination contre le typhus exanthématique n'est plus que rarement indiquée (en territoire d'endémie), celle contre la peste n'est plus pratiquée (efficacité aléatoire, antibiothérapie satisfaisante).

## Conservation des vaccins

L'efficacité d'un vaccin, si parfait fût-il à l'issue de la chaîne de fabrication, est liée au maintien de son pouvoir antigénique, lequel est l'attribut de quelques molécules protéiques, fragiles tant par leur labilité propre que par leur sensibilité à tous les facteurs de dénaturation (lumière, chaleur, composition du milieu, agents physiques, etc.) pouvant intervenir pendant la durée du stockage et de la distribution.

Le procédé de conservation le plus généralement valable est le stockage à une température basse et constante aux environs de + 4 °C. La congélation peut être néfaste, ou même dénaturer complètement certains vaccins (vaccin antirabique), et il convient en général de l'éviter.

Le mode idéal de conservation est représenté, pour les vaccins qui le supportent (en particulier la plupart des vaccins à virus atténué, mais non le vaccin poliomyélitique), par la lyophilisation ou cryodessiccation qui consiste à sublimer sous vide à très basse température l'eau (qui représente plus de 98 % du volume du vaccin) : le résultat est une pellicule de vaccin desséché adhérant à une paroi de l'ampoule de verre ; au moment de l'emploi, on reconstitue le volume primitif en introduisant la quantité nécessaire d'eau pure dans l'ampoule. Dans certains cas, l'addition préalable d'hydrate de carbone (glucose, gomme arabique) au vaccin à lyophiliser constitue un facteur supplémentaire de conservation en enrobant l'antigène d'une couche protectrice.

Quel que soit le mode de conservation adopté, son efficacité doit être testée, et la durée de validité du vaccin évaluée avec une marge suffisante de sécurité. Le conditionnement final du vaccin doit porter de façon apparente une date de péremption au-delà de laquelle le vaccin n'est plus valable.

Pour les vaccins susceptibles de supporter un long stockage en vrac à très basse température, la durée de validité commence à courir à partir de la date du dernier titrage précédant le conditionnement de distribution. Les limites de validité, sont, dans tous les cas, vérifiées et sanctionnées par l'autorité nationale chargée du contrôle.

## Technologie de l'application des vaccins

La technique d'application des vaccins varie suivant que l'on envisage leur application à des individus, des groupes ou des masses de populations.

### Vaccinations individuelles

Le cas type est celui des vaccinations de l'enfant, en pratique libérale privée : les vaccins, autrefois présentés en ampoules de verre d'une dose pour en remplir une seringue à injection de 0,5 à 1 ml, ont partout fait place à l'ampoule-seringue auto-injectable, où une dose de vaccin remplit une seringue de plastique à usage unique, évitant ainsi toute manipulation avec possibilité d'erreur de dosage ou de contamination du contenu ainsi que tout risque de transmission d'une infection (tuberculose, syphilis) par remploi de seringues ou d'aiguilles insuffisamment stérilisées. Les techniques modernes d'adsorption et de concentration des antigènes permettent la réalisation de vaccinations assurant jusqu'à quatre antigènes différents sans augmentation du volume total à injecter qui ne dépasse pas 1 ml.

### Vaccinations collectives

C'est le cas des vaccinations pratiquées à l'école, au régiment lors de l'incorporation, ou dans les diverses collectivités. La méthode la plus couramment employée reste celle de la seringue individuelle, mais pour des raisons d'économie de temps et de prix on emploie souvent des boîtes de seringues individuelles toutes montées, stérilisées à l'avance à l'autoclave, que l'on remplit en puisant dans des flacons multidoses. La



Institut Mérieux

▲ *Vaccination au pistolet : le pistolet injecteur sans aiguille (IMOJET Mérieux) rend possibles les vaccinations de masse sans risque de contamination par la seringue. Cette technique a permis, lors de l'épidémie brésilienne de méningite cérébrospinale, de vacciner la population au rythme de 2 millions de personnes par jour à Sao-Paulo. C'est la méthode de choix pour les vaccinations collectives.*

méthode n'est acceptable que si les seringues stériles sont en nombre suffisant pour que chaque sujet vacciné ait la sienne (pas de restérilisation en cours de séance) et si chaque flacon multidose est détruit en fin de séance (pas de remploi d'un flacon ouvert).

### *Vaccinations de masse*

Dès que le nombre des sujets à vacciner dépasse environ 200 par séance, il est nécessaire de faire appel à des équipes de vaccination et à des méthodes plus expéditives. La plus largement employée est celle du *Pedo-jet* ou *Imojet* où le vaccin, stocké dans de grands récipients stériles, est envoyé sous pression dans une sorte de pistolet où chaque pression de la détente envoie à grande vitesse un jet filiforme de vaccin qui traverse l'épiderme sans perforation préalable. Les sujets à vacciner défilent devant une équipe de vaccinateurs, dont le premier désinfecte la peau à l'alcool (généralement au niveau du deltoïde), le suivant opère au pistolet (l'injection dure une fraction de seconde et est indolore), et le troisième tamponne le document individuel et la liste nominative des vaccinés.

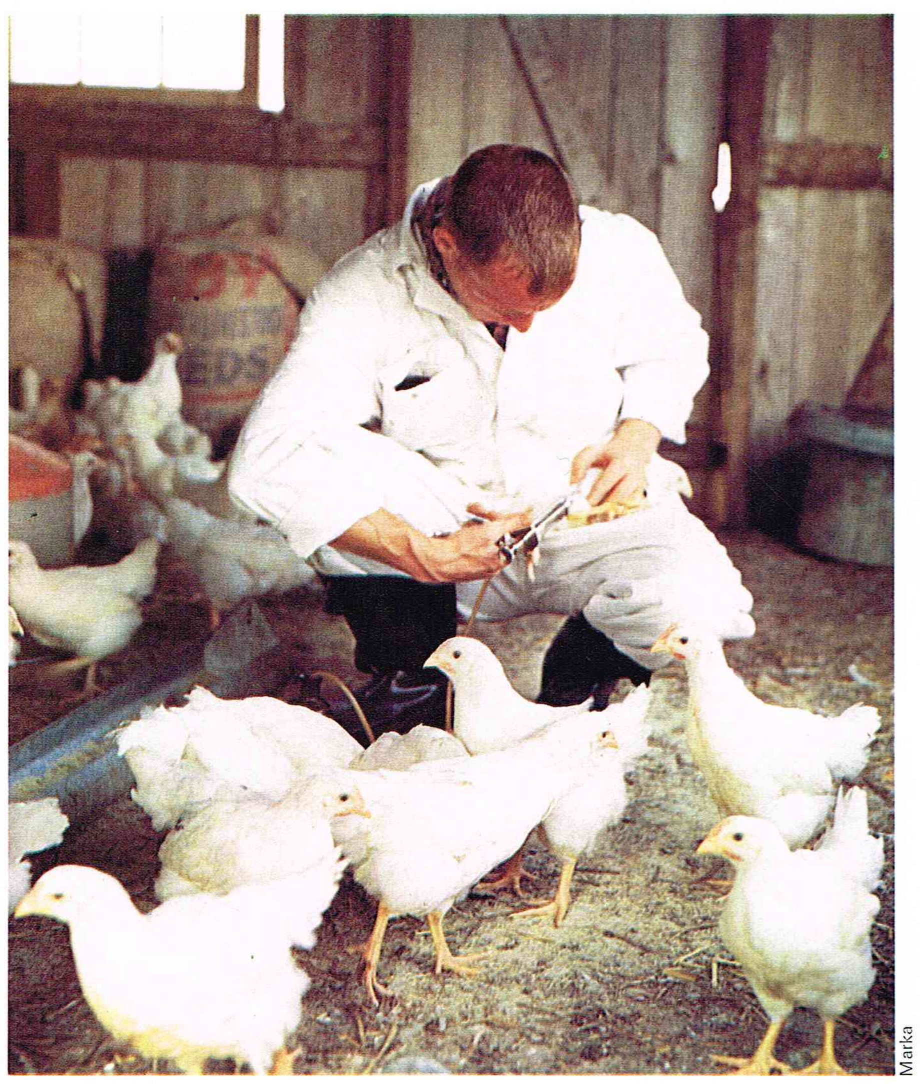
On peut ainsi opérer plusieurs milliers de vaccinations par jour et assurer l'immunité de toute une population en peu de temps. La méthode est précieuse en temps d'épidémie (vaccination contre la fièvre jaune ou la méningite cérébro-spinale) ou lorsqu'il faut vacciner des populations dispersées sur de grandes étendues et que l'on ne peut rassembler qu'à l'occasion d'une campagne programmée.

## *Incidents, accidents des vaccinations*

Les vaccinations donnent parfois lieu à des incidents (réaction locale : rougeur, douleur ; réaction générale : courbatures, mouvements fébriles) de nature bénigne et le plus souvent évitables (repos, administration d'un antihistaminique). Plus rarement, voire très exceptionnellement, on peut assister à de véritables accidents d'une gravité variable. Les plus sérieux sont les risques d'encéphalopathies qui, de façon peu explicable, surviennent après certaines vaccinations : c'est la vaccination contre la variole qui était la plus exposée (un cas sur 25 000 vaccinations certaines années), mais de façon très irrégulière. L'emploi de souches sélectionnées (souche Lister), une technique améliorée de vaccination (piqûre dermique) ont pratiquement fait disparaître ce risque d'encéphalite, le plus redouté de tous. D'autres vaccinations (coqueluche, rougeole) ont donné, très exceptionnellement, lieu à des accidents analogues ; les vaccinations anatoxiques et poliomyélitiques ne sont pas considérées comme présentant un risque.

Les techniques modernes de préparation des vaccins, en éliminant la plus grande partie du matériel protidique étranger à l'antigène, font pratiquement disparaître tout risque d'accident dû au vaccin.

Mais l'acte vaccinal, comme toute action humaine, comporte sa part de risque, si infime fût-il : il convient dans l'analyse des accidents de distinguer ce qui est redevable au vaccin en tant qu'antigène de ce qui relève le plus souvent d'une faute humaine ou professionnelle



Marka

▲ *La vaccination préventive des poulets leur assure une protection efficace contre les épidémies.*

▼ *Les vaccinations en médecine vétérinaire sont le plus souvent des vaccinations de masse s'étendant à tout un troupeau, à toute une région.*



Marka

(emploi d'un matériel non stérile, d'un vaccin altéré, erreur de technique dans l'application, négligence des contre-indications).

Il est souhaitable que les accidents de vaccination, en raison même de leur caractère très exceptionnel, fassent chaque fois l'objet d'une enquête approfondie afin d'en mieux prévenir le retour.

## Vaccinations en médecine vétérinaire

Les vaccinations employées, avec des applications croissantes, en médecine vétérinaire, obéissent exactement aux mêmes principes et répondent aux mêmes catégories que les vaccinations en médecine humaine. Leur technologie de fabrication n'en diffère fondamentalement en rien.

Il y a cependant dans les modalités de leur application de sérieuses différences entre les vaccinations employées chez l'animal et celles en application chez l'homme. Cela pour des raisons qui sont évidentes.

- Il peut être jugé comme plus économique à la longue et donnant plus de sécurité du point de vue de la protection de la santé humaine de procéder à l'éradication par abattage plutôt qu'à la vaccination des troupeaux atteints d'une affection transmissible à l'homme : la méthode a été appliquée pour la tuberculose bovine et pour la fièvre aphteuse aux États-Unis. Mais elle doit être généralisée pour être efficace et ne saurait être appliquée à l'homme qui peut rester porteur de l'infection.
- La protection assurée par un vaccin n'est intéressante que pour la durée de la vie économique de l'animal, mais elle doit être assurée rapidement et avec un minimum d'intervention : c'est dire que les méthodes vaccinant en une seule injection, fût-elle massive, seront préférées aux méthodes demandant plusieurs injections.
- Pour assurer une meilleure protection de l'ensemble d'un troupeau, on peut envisager d'employer un vaccin donnant par exemple un accident mortel sur plusieurs milliers de vaccinations, éventualité absolument inacceptable chez l'homme, mais dont les incidences économiques peuvent être acceptées par l'éleveur, voire couvertes par une assurance, en échange d'une meilleure protection.
- En dehors du cas de la vaccination individuelle des animaux de compagnie, pour lesquels les exigences sont à peu près identiques à celles des vaccinations humaines, les vaccinations en médecine vétérinaire sont le plus souvent des vaccinations de masse s'étendant à tout un troupeau, à toute une région : le prix du vaccin doit rester modéré pour ne pas grever exagérément l'exploitation, et surtout il doit rester inférieur au prix de l'assurance du bétail. L'assurance couvre l'éleveur sans lui demander de travail ni déranger le vétérinaire, ce qui n'est pas le cas du vaccin : ce dernier doit donc représenter un avantage économique.

En dépit des contraintes, la fabrication des vaccins vétérinaires est généralement plus rentable pour le producteur que les vaccins humains. Les dossiers sont moins longs à établir, les autorisations plus faciles, les responsabilités moins lourdes. Équipement et personnel techniques sont d'un niveau comparable, mais les lots de vaccins vétérinaires, portant sur des masses plus grandes, ont un meilleur rendement. Enfin, l'exportation ne se heurte pas, sauf en des pays de technicité très évoluée aux mêmes obstacles que les vaccins humains.

On retrouve en médecine vétérinaire les mêmes types de vaccins : vaccins bactériens tués (charbon), vaccins bactériens vivants (fièvre ondulante), vaccins à virus inactivé (rage), vaccins à virus atténués (maladie de Carré), vaccins anatoxiques (botulisme). Leurs techniques de préparation et de contrôle sont calquées sur celles des vaccins humains. Il n'est pas jusqu'à l'obligation légale de la vaccination (fièvre aphteuse) qui ne se rencontre dans la réglementation, qui tend à se rapprocher de plus en plus de celle qui régit les vaccinations humaines.

## Réglementation

Tous les pays producteurs de vaccins appliquent une réglementation devenue progressivement assez stricte. Jusqu'en 1955, il suffisait à un laboratoire de recherches

de mettre au point une technique expérimentale, d'en démontrer par des essais appropriés l'innocuité et l'efficacité, d'y joindre quelques essais cliniques, pour obtenir quasi automatiquement du laboratoire national de contrôle l'autorisation de débit correspondant à la mise sur le marché du produit.

Les accidents survenus aux États-Unis (« Cutter incident ») lors de la mise en œuvre du premier vaccin poliomyélitique type Salk, dont l'un des six producteurs autorisés livra dans le circuit public des lots de vaccin où le virus n'était pas totalement inactivé, avec pour conséquence des poliomyélites d'inoculation, ont totalement modifié la situation. Les National Institutes of Health des États-Unis ont introduit une étroite réglementation, reprise par l'OMS et appliquée dans tous les pays producteurs de vaccins.

La production d'un vaccin nouveau débute par le dépôt d'un dossier de fabrication très complet (300 à 500 pages) auprès de l'autorité nationale, énumérant et décrivant avec précision les souches employées, leur origine, leurs milieux de culture et de conservation, leur essai, le mode de préparation du vaccin, les contrôles de toute nature opérés avant, pendant et après la fabrication, les épreuves servant à tester l'innocuité, l'efficacité, l'absence d'effet tératogène ou d'induction de néoplasies, le mode et la durée de conservation, la résistance aux facteurs détériorants : chaleur, lumière, et tous les éléments d'appréciation imaginables.

Au vu du dossier, l'autorité nationale désigne trois experts : le premier pour l'expertise toxicologique (vérification des propriétés et actions toxiques possibles à courte, moyenne et longue échéance), le second pour étude pharmacologique (contrôle expérimental de l'efficacité). En possession des deux premiers rapports, et s'ils sont favorables, le troisième expert procède aux essais cliniques sur des groupes contrôlés dont le nombre doit être suffisant pour donner une valeur statistique aux résultats finals.

Par exemple, pour un vaccin contre la rougeole, le groupe essayé doit comporter dix mille sujets n'ayant pas au préalable d'anticorps décelables, qui seront vaccinés et comparés à un groupe non vacciné de même importance. On observera les cas de rougeole survenant spontanément dans l'un et l'autre groupe, et après trois ans on procédera au titrage des anticorps des sujets vaccinés comme des sujets non vaccinés (ou du moins de ceux qui pourront être retrouvés au bout de ce temps...).

L'ensemble des expertises dure un minimum de trois ans dans la meilleure éventualité et peut se poursuivre pendant une durée allant jusqu'à dix ans, surtout si l'on estime qu'il existe le moindre risque oncologique ou teratogène à l'emploi du vaccin.

Tous les résultats étant jugés favorables (sinon il y a rejet, et il faut recommencer à zéro sur de nouvelles bases), le vaccin nouveau se voit donner une autorisation limitée aux essais par des spécialistes cliniciens : cette période est d'environ deux ans avant que le producteur reçoive finalement une autorisation provisoire de débit, constamment révisable en cas d'incidents ou de simple suspicion d'incidents (c'est ainsi que le vaccin antiherpétique, surtout thérapeutique, dont les résultats cliniques étaient satisfaisants, a été retiré du commerce sur la simple suspicion, non prouvée, d'une communauté antigénique supposée entre l'antigène herpétique inactivé et le virus hypothétique responsable de la transformation cancéreuse des cellules du col utérin chez la femme).

## *Marché des vaccins*

Une fois accepté par l'autorité nationale, un vaccin est théoriquement exportable sur le vu du dossier d'agrément du pays producteur. Mais un pays est toujours libre de procéder à de nouveaux contrôles, voire d'imposer de recommencer toute la procédure selon la législation du pays où le vaccin est importé. C'est le cas notamment des États-Unis qui n'autorisent qu'un vaccin produit et contrôlé localement, ce qui pratiquement revient à opposer à l'importation une barrière absolue.

Comme les pays industrialisés ont pratiquement tous des laboratoires nationaux de fabrication de produits biologiques, le même scénario tend à se reproduire partout, même à l'intérieur du Marché commun. Quant aux pays en voie de développement, trop pauvres ou trop démunis de technologie pour produire eux-mêmes leurs vaccins, ils ne peuvent généralement consacrer que des sommes dérisoires à l'achat des vaccins à l'étranger et comptent le plus souvent sur la compétition politique entre les grands États pour obtenir gratuitement les vaccins dont ils ont besoin. En outre, la plupart du temps, l'application en est mal surveillée, ce qui rend très aléatoires les résultats finalement rapportés.

De sorte qu'en fin de compte le marché des vaccins est le plus souvent limité au territoire national et à quelques pays ayant conclu des accords commerciaux incluant les produits biologiques.

Les vaccinations principales s'adressant essentiellement à l'enfance (diphtérie, polio, tétanos, coqueluche, BCG), le marché potentiel est exprimé par le nombre des naissances annuelles et celui des rappels, au nombre de trois ou quatre, s'adressant à la fraction (au maximum 35 %) de la tranche d'âge qui entretiendra régulièrement son immunité jusqu'à l'âge adulte : au total un marché assez étroit, gouverné par des contrats de fourniture aux autorités sanitaires qui contrôlent les marchés.

C'est la raison pour laquelle, dans presque tous les pays, la fabrication des vaccins humains est l'œuvre de laboratoires nationaux, pour lesquels le problème de rentabilité n'est pas posé, ou d'instituts subventionnés et contrôlés par l'État. Dans les pays où subsiste l'économie de marché, seules de très grandes firmes industrielles aux activités multiples conservent une branche biologique de fabrication de vaccins qui est, pour la firme productrice, une contribution à son image de marque et à son prestige plus qu'une source de profits.

Quant aux pays dont l'économie est planifiée par l'État, la production des vaccins obéit sur le plan national aux impératifs de la politique sanitaire se traduisant par de vastes campagnes de vaccinations généralisées, ce qui a l'avantage de fournir en peu de temps des résultats statistiquement valables et idéologiquement exploitables, permettant, sur le plan international, de procéder auprès des pays du tiers monde à des exportations massives sans contrepartie financière.

Paradoxalement, le marché des vaccins vétérinaires est plus ouvert, avec des prix de fabrication moins élevés, des marges bénéficiaires plus libres et un renouvellement constant du cheptel dont la durée de vie économique est de deux à trois ans. Cependant, ici encore, différentes considérations favorisent la fabrication sur place des vaccins : prix de la main-d'œuvre, conditions de transport ou encore interdiction de la manipulation de certains virus (fièvre aphteuse aux États-Unis, peste équine en Europe) par crainte légitime d'épizooties dans des régions où ne se manifeste pas la maladie.

De toute façon, aucune production de vaccin ne peut, par les seuls bénéfices qu'elle procure, assurer les frais de la recherche, seule source de progrès et d'incitation aux vaccins qui restent à découvrir.

## BIBLIOGRAPHIE

ALBRIGHT C., *Microsymposium on Separation of Plant Cell Particulates,* Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1970. - ANDERSON N. G., *Analytical Techniques for Cell Fractions,* Analytical Biochemistry, vol. 28, 1969. - CLINE GEORGE B., *Continuous Sample Flow Density Gradient Centrifugation,* University of Alabama, Birmingham, Alabama, 1972. - GERNEZ-RIEUX C. et GERVOIS M., *Protection conférée par le BCG pendant les vingt années suivant la vaccination,* Bull. Org. Mond. Santé, vol. 48, 1973. - LÉPINE P., *les Vaccinations,* coll. « Que sais-je? » n° 1618, P. U. F., 1975. - MANDE R., *Actualité de la vaccination contre la coqueluche,* Bull. Acad. Nat. Méd., vol. 159, 1975. - O. M. S., *Standardization of Cell Substrates for the Production of Virus Vaccines,* Joint WHO-IABS Symposium, Genève, 13-15 décembre 1976. - RELYVELD E. H., *le Phosphate de calcium comme adjuvant dans les vaccinations de l'homme,* Annales Inst. Pasteur, vol. 116, 1969; *Nouveaux Procédés de préparation de vaccins et leur utilisation en pratique médicale,* l'Industrie nationale n° 3, 1977. - SHORTMAN K., *Progress in Separation and Purification,* vol. 2, p. 167, Wiley Interscience, 1969.

# L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

L'industrie alimentaire produit des aliments à partir de matières premières biologiques d'origine animale et végétale, et également, mais pour une moindre part, microbienne.

Cette définition générale très schématique ne prend tout son sens que si les notions complexes de *matières premières biologiques*, de biotechnologie et enfin, et surtout, d'*aliments* qu'elle contient sont précisément définies. Entrer dans cette complexité est essentiel, puisqu'en définitive le produit alimentaire fabriqué par l'industrie doit être adapté à l'homme, à ses besoins nutritionnels, psychosensoriels, affectifs et symboliques.

S'il est acceptable que l'homme moderne fasse quelques efforts d'adaptation à des produits alimentaires nouveaux, ces efforts doivent rester limités. L'industrie alimentaire, qui n'a pas encore complètement pris conscience du rôle fondamental qu'elle joue dans la société moderne et, partant, de l'importance de sa responsabilité, a quelquefois tendance à considérer le produit alimentaire comme n'importe quel autre produit industriel. Toutes les techniques psychosociologiques, et principalement la publicité, qui font vendre les produits doivent ici être utilisées avec beaucoup de précautions. L'innovation elle-même doit être dans ce domaine beaucoup plus canalisée que dans d'autres et orientée vers une finalité qui ne doit pas être uniquement dictée par le marketing. S'il est évident que l'industrie, par la dynamique et l'efficacité de ses méthodes, reste la seule capable de faire une production de masse qui réponde aux exigences de l'économie moderne, il est non moins évident que les contraintes nées de la nature des matières premières et la finalité des produits finis impriment à l'industrie alimentaire une spécificité qui fait l'unité et l'originalité de ce secteur industriel.

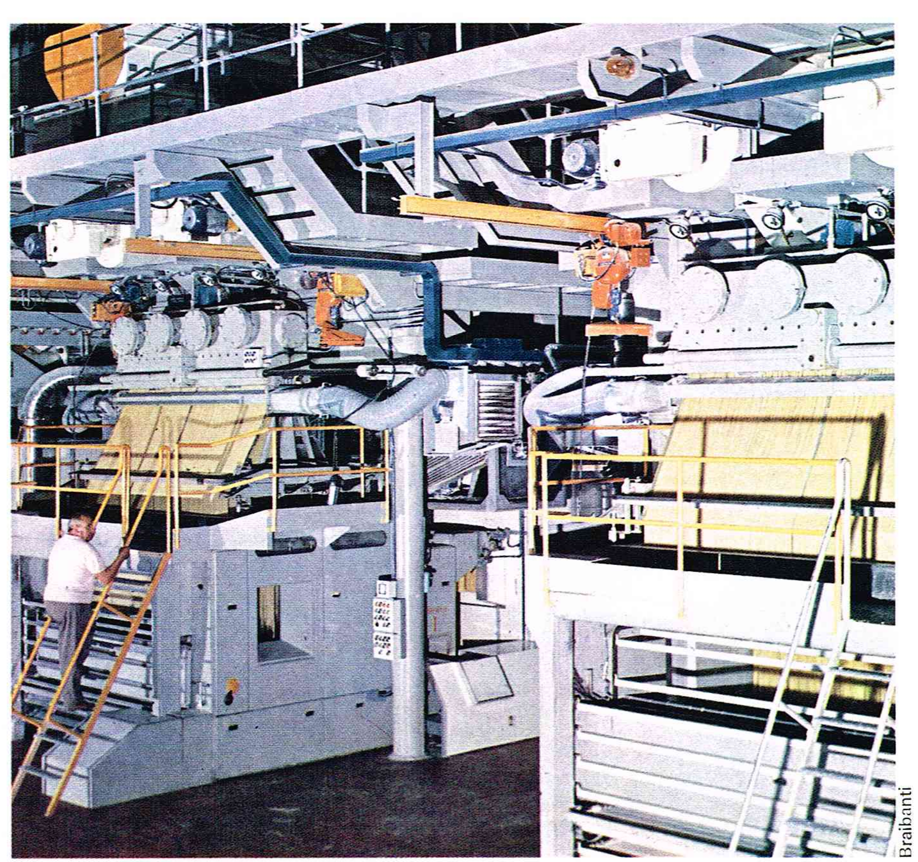
Et cela malgré l'extrême diversité tant technologique qu'économique que l'on y rencontre. A tel point que l'on utilise souvent comme appellation, au lieu d'industrie alimentaire, l'expression industries alimentaires ou, plus généralement, industries agricoles et alimentaires. Cette dernière appellation se retrouve dans les textes officiels. Il existe une Direction au ministère de l'Agriculture, une école d'ingénieurs et des laboratoires de recherche portant ce nom. Sans s'attarder sur une terminologie vieille de plus d'un demi-siècle, on peut toutefois regretter que celle-ci mette plus l'accent sur la diversité que sur l'unité de ces industries.

Mais il y a plus grave, dans la mesure où la terminologie traduit l'état de dépendance dans lequel se trouve l'industrie alimentaire vis-à-vis de l'agriculture, qui a pendant très longtemps considéré cette industrie comme une sorte de diverticule sans grande importance. Il en a résulté un effort de recherche en rapport avec l'intérêt accordé. La conséquence est celle que l'on connaît : une industrie agro-alimentaire encore mineure sous la tutelle d'une puissante agriculture.

Un secrétariat d'État aux Industries alimentaires a été créé en 1976 dans le dessein de doter la France d'une industrie alimentaire digne de son agriculture. Il semble que ce secteur industriel ait des potentialités très importantes et soit de ce fait promu à un grand avenir. Certains économistes pensent qu'il sera, dans les prochaines décennies, la « locomotive » qui entraînera toute l'économie, à l'instar de ce qui s'est passé pour l'astronautique ou le nucléaire. Déjà, maintenant, le chiffre d'affaires des industries alimentaires se rapproche de celui de l'agriculture.

Les problèmes qu'aura à résoudre, dans les années à venir, l'industrie alimentaire sont de deux ordres : les problèmes de qualité pour les pays nantis et les problèmes quantitatifs pour le tiers monde. Si les seconds restent les plus préoccupants puisqu'ils concernent la faim dans le monde, les premiers sont sans doute les plus difficiles à résoudre, puisqu'ils exigent une parfaite maturité de l'industrie alimentaire. Celle-ci n'est qu'un maillon, certes très important, de la chaîne alimentaire qui comprend les industries en amont de l'agriculture (engrais, industries phytopharmaceutiques), l'agriculture, la distribution et la consommation. Aucun problème de la chaîne alimentaire ne peut être abordé en ignorant les autres maillons. Or, entre l'agriculture dont est issue l'industrie agro-alimentaire et l'industrie vers laquelle elle se tourne, l'équilibre est difficile à trouver. Il semble que, pour se libérer du grand état de dépendance qui a été longtemps le sien vis-à-vis de l'agriculture, et pour des raisons d'efficacité dans la recherche du profit, elle ait trop brutalement basculé vers l'industrie, avec les conséquences que l'on décrira plus loin.

▼ *Vue partielle d'une fabrique de pâtes alimentaires.*


Braibanti

## *Importance sur le plan économique*

En France, l'industrie alimentaire a un poids économique très important, puisqu'elle se situe pour le chiffre d'affaires en deuxième position, après le secteur bâtiments et travaux publics, mais la valeur ajoutée brute est inférieure à celle de l'ensemble des activités industrielles. Environ 5 000 entreprises de plus de 5 salariés emploient 380 000 personnes, soit environ 7 % des salariés de l'industrie.

Sans entrer dans le détail des chiffres, qui évoluent, on peut dégager quelques traits caractéristiques de l'économie de l'industrie agro-alimentaire. La taille des entreprises est faible ; l'effectif et le chiffre d'affaires sont en moyenne peu élevés, une quarantaine d'entreprises seulement emploient plus de 1 000 personnes. Le quart environ de ces entreprises fait un chiffre d'affaires supérieur à 10 millions de francs. La coexistence d'entreprises artisanales et de très grandes sociétés multinationales s'observe en général, mais la structure des entreprises est fort différente suivant le secteur considéré. Par exemple, dans le cas de la raffinerie de sucre, le nombre d'entreprises pour un même chiffre d'affaires est très faible par rapport au secteur des épices, café, chicorée (179 entreprises contre 8 pour la raffinerie).

## *Pluralité des technologies*

La pluralité des technologies du secteur alimentaire n'a pas d'équivalent dans d'autres domaines industriels.

Il existe environ une quarantaine de branches d'importance très différente et souvent très éloignées technologiquement les unes des autres : il n'y a pratiquement aucun point commun entre la fabrication des jus de fruits et celle des pâtes alimentaires.

Montecatini Edison

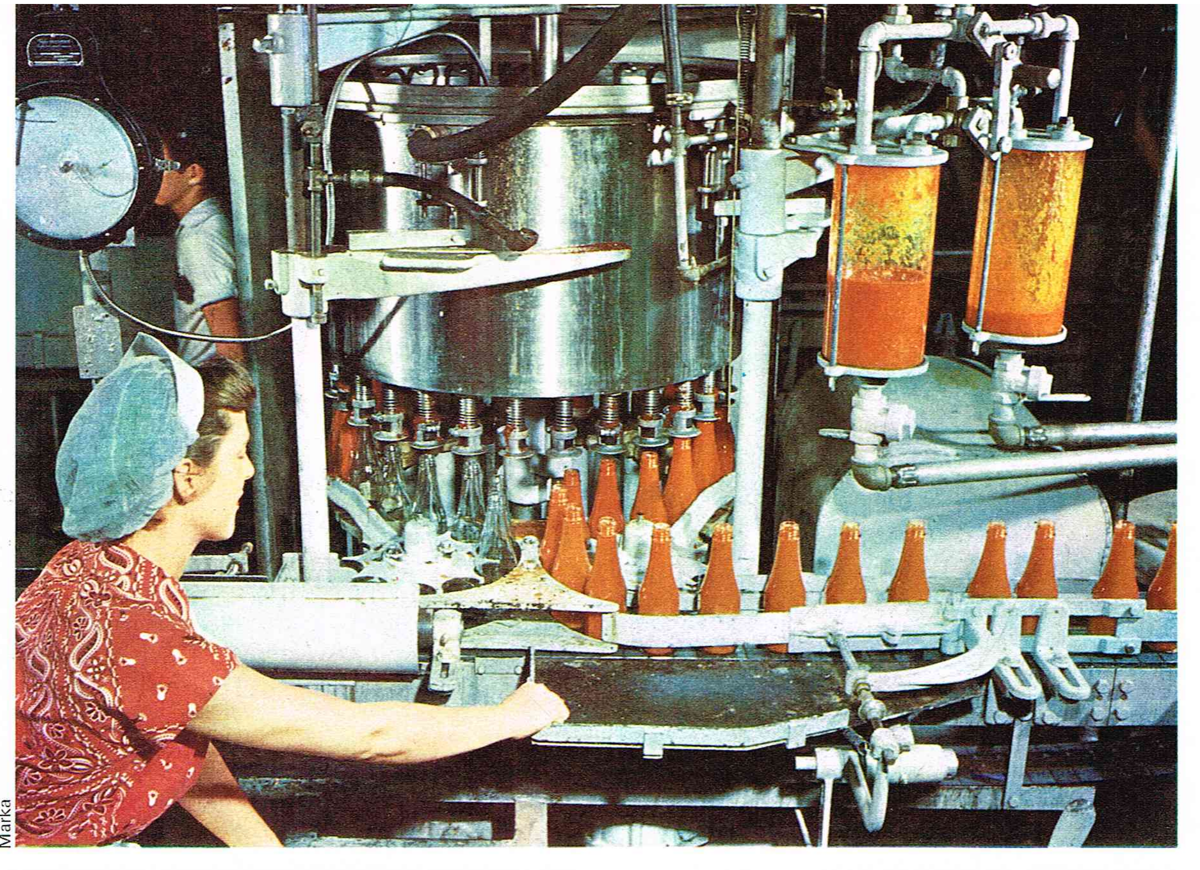
▲ *Première étape de l'intervention de l'industrie dans l'agriculture : la fabrication des engrais. Ici, production de sels de potasse, atelier de centrifugation.*



D. Czap - TOP

◀ *Culture de la tomate en serre.*

▶ *Les techniques de l'industrie alimentaire sont très variées. Il en existe une quarantaine de branches. Ici, fabrication de la sauce tomate.*

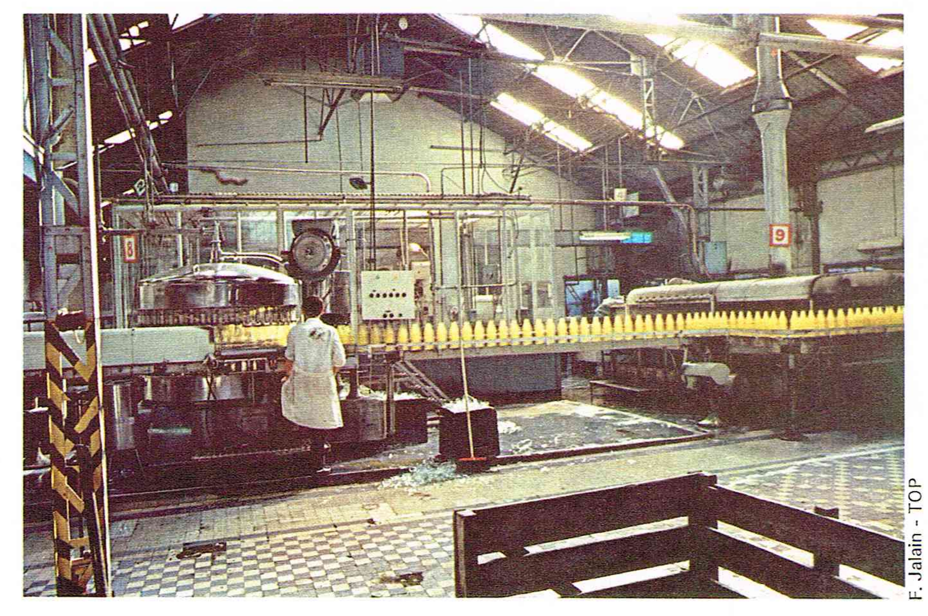


Marka

▼ *Ci-dessous, les halles de Rungis, « ventre de Paris ». En bas, fabrication des jus de fruits Volvic.*



L. Rousseau - TOP



F. Jalain - TOP

Les différences se retrouvent encore à l'intérieur d'un même secteur alimentaire ; la laiterie présente une grande variété de technologies : fabrication du fromage, du lait concentré, du lait en poudre, de lactoprotéines, etc. C'est le cas aussi de la confiserie : la fabrication d'une pâte d'amandes est très éloignée de celle d'un fruit confit.

Au travers de cette pluralité des technologies, on peut dégager toutefois la véritable unité des industries alimentaires. C'est la finalité et le caractère biologique des matières premières qu'elles traitent et des produits qu'elles fabriquent. Il s'agit de produits destinés à être consommés, ce qui implique qu'ils possèdent des qualités nutritionnelles, hygiéniques et organoleptiques ; le maintien de ces qualités exige des traitements particuliers respectant la fragilité de la matière biologique.

Bien que progressant très vite, le niveau technologique dans l'industrie alimentaire est relativement bas, comparé en particulier à celui des autres secteurs de l'industrie. Le budget consacré à la recherche-développement, qui peut être considéré comme une mesure de ce niveau technologique, est le plus faible du secteur industriel : 1 % seulement, et quelquefois moins, du chiffre d'affaires. A l'autre extrémité, l'aérospatiale, dont le chiffre d'affaires est inférieur à la moitié de celui des industries alimentaires, investit treize fois plus en recherche et développement. En fait, 1 % seulement des firmes fait de la recherche, qui n'occupe au total, en comptant les quelques centres techniques, que 500 chercheurs, soit environ un salarié pour 1 000. Cette situation, bien évidemment, met certains secteurs de l'industrie alimentaire en état de grande dépendance vis-à-vis d'autres branches industrielles, ce qui favorise les transferts technologiques de ces branches industrielles vers les industries alimentaires.

Toutefois ces transferts ne peuvent se faire en pratique que si les industries alimentaires sont tournées vers l'extérieur, réceptives, préparées. Or la part des investissements réservée aux recherches extérieures, qui facilitent ces transferts, ne représente que 10 % du budget total de recherche de l'industrie alimentaire. Ainsi, l'effort qu'elle fait pour réaliser les transferts technologiques est encore relativement faible.

## *Évolution technologique*

De nombreux produits alimentaires sont depuis longtemps définis sur le plan de la composition, et les procédés artisanaux traditionnels permettent d'obtenir d'excellents produits sur le plan organoleptique. Mais ces procédés présentent certains inconvénients, en particulier l'inconstance des propriétés organoleptiques. De plus, les normes hygiéniques sont très difficilement respectées. D'autre part, ce mode de fabrication est tout à

Galbani

fait impropre à la production de masse qui semble être une nécessité économique actuelle. Il est donc nécessaire de repenser la fabrication des aliments à l'échelle industrielle.

Dans la plupart des cas, le passage du stade artisanal au stade industriel s'est fait sans modification fondamentale des technologies, par simple rationalisation des processus de fabrication. La fabrication artisanale des produits alimentaires exige la mise en œuvre de plusieurs techniques différentes effectuées en postes séparés. L'alimentation de ces postes nécessite généralement une manutention importante. Dans un premier temps, cette manutention a été réduite (transport des matières par pneumatique, par bande, etc.). Ensuite, l'automatisation s'est installée, permettant d'avoir des lignes de fabrication complètement programmées. Ces améliorations n'impliquent en aucune manière une évolution technologique, il s'agit simplement d'une rationalisation du travail industriel.

Parallèlement à cette automatisation, des progrès importants ont été réalisés qui ont porté principalement sur l'augmentation de la capacité unitaire des appareils, sur la réduction de tout ce qui freine la continuité des processus. L'objectif principal était de transformer le discontinu en continu et d'améliorer ainsi la productivité. Depuis quelque temps, l'utilisation d'aciers spéciaux dans le matériel destiné à l'industrie alimentaire s'est généralisée.

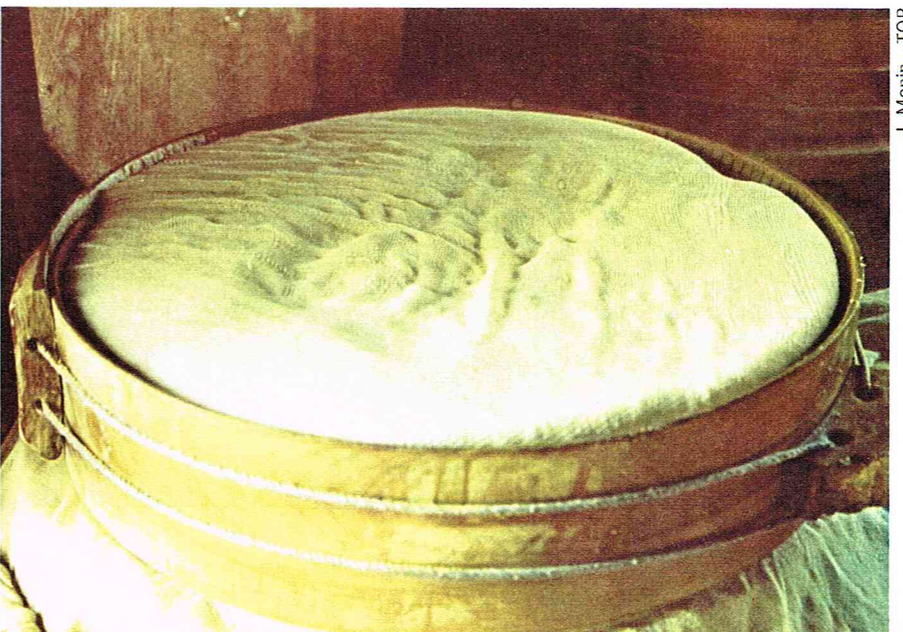
Tenant compte des résultats obtenus en génie chimique, les processus technologiques eux-mêmes ont été repensés en termes d'opérations unitaires communes aux différentes technologies verticales des industries alimentaires, et également sous forme de transfert de chaleur, de matières. En fait, l'évolution des industries alimentaires ne peut se faire harmonieusement que par le développement parallèle, d'une part, des connaissances sur la composition des aliments, sur leur évolution bio-physico-chimique au cours des processus technologiques et de la conservation, et, d'autre part, du génie alimentaire. Or l'on constate que c'est principalement le développement de ce dernier qui fait progresser les industries alimentaires sur le plan de la productivité. Le génie alimentaire, bénéficiant très largement des apports du génie chimique, s'est développé d'une façon beaucoup plus rapide que les connaissances fondamentales sur les aliments.

Cela a créé une sorte de dysharmonie qui est à l'origine de divers problèmes. Le principal d'entre eux vient de l'adaptation de l'aliment à la machine, rendue souvent nécessaire par cette évolution déséquilibrée. La conséquence la plus marquante a été une « chimisation » de plus en plus poussée de l'industrie alimentaire, qui a provoqué depuis quelque temps une très vive réaction des consommateurs.



J. Monin - TOP

▲▼ *Ci-dessus et ci-dessous : deux étapes de la fabrication artisanale du fromage. En haut, fromagerie moderne ; nous sommes bien loin de la fabrication artisanale.*



J. Monin - TOP



Ian Berry - Magnum

Cette relative importance du hardware par rapport aux connaissances des mécanismes fondamentaux des technologies résulte, bien sûr, de l'intérêt immédiat de la recherche d'une meilleure rentabilité des processus de fabrication. Le génie chimique a pris en charge l'industrie alimentaire en négligeant la nature des produits qu'elle traite.

## *Apport des techniques nouvelles*

Sans faire une monographie de toutes les techniques nouvelles qui ont été ou qui seront utilisées à court terme dans les industries alimentaires, nous allons prendre trois exemples de techniques de pointe particulièrement intéressantes :
— la technique des enzymes immobilisées;
— les techniques de séparation : ultrafiltration, électrodialyse, osmose inverse;
— la cuisson-extrusion.

### *Technique des enzymes immobilisées*

Les micro-organismes sont depuis très longtemps utilisés dans les industries alimentaires (fabrication du vin, du pain, du fromage, etc.), mais, depuis un siècle environ, on sait quels sont les responsables moléculaires des différentes réactions que provoquent ces micro-organismes : ce sont les enzymes, polymères d'acides aminés, qui contrôlent l'ensemble des processus biochimiques à l'intérieur des cellules dans des conditions douces de température, de pression et de pH.

Les enzymes présentent une grande spécificité d'action. La technologie enzymatique regroupe tout ce qui concerne les problèmes posés par les enzymes au niveau du micro-organisme lui-même jusqu'à l'enzyme purifiée. Ces problèmes sont de nature extrêmement variée. On peut donc bien ici parler de technologie enzymatique, et l'une de ses techniques est celle des enzymes immobilisées.

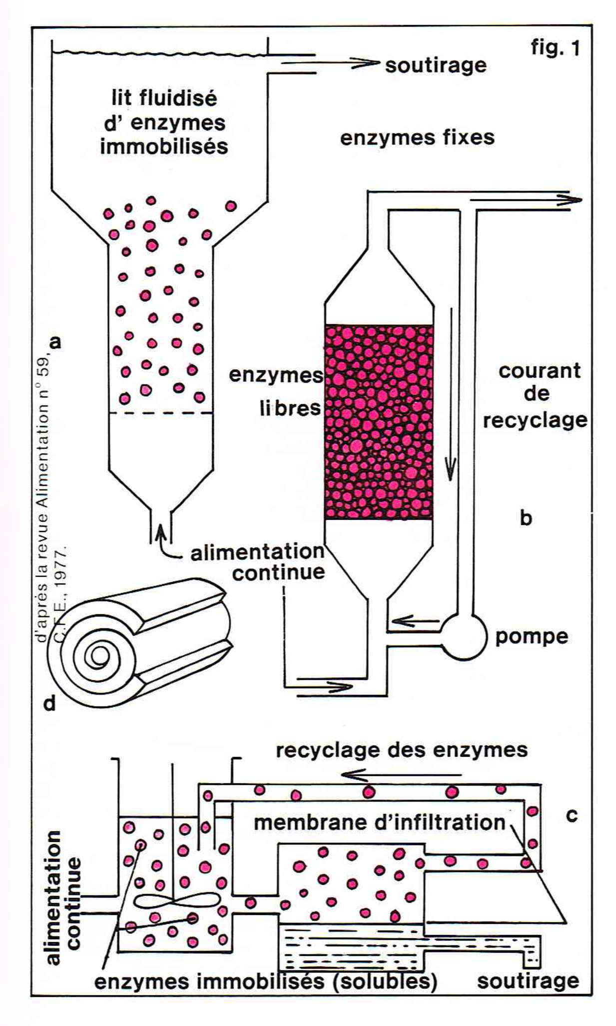
La **technologie enzymatique** s'est considérablement développée avec l'isolement des enzymes à l'état cristallisé. Des préparations enzymatiques sont utilisées dans l'industrie alimentaire, panification, brasserie, etc. Le prix élevé de ces préparations, leur faible disponibilité (c'est

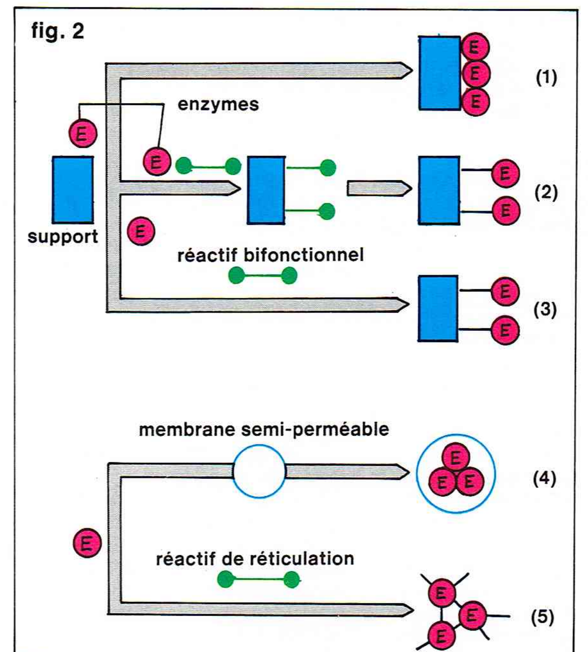
▲ *La recherche constante de la rentabilité de la fabrication des produits alimentaires amène à une automatisation poussée, aux dépens parfois du produit traité.*



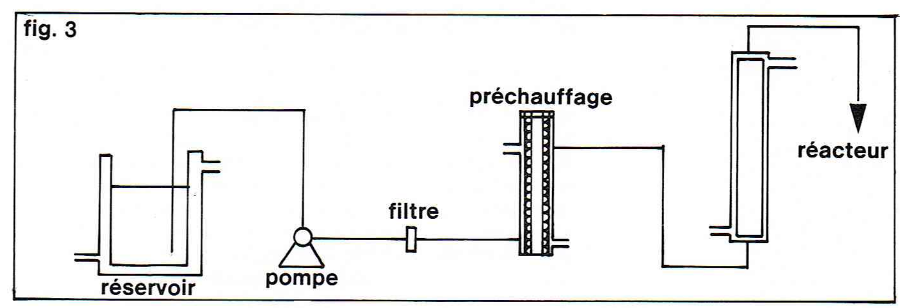
G. Le Querrec - Magnum

▶ *La fabrication des conserves de poisson demande une manutention importante.*




◀ *Figure 1 : a, encore assez peu utilisés, les réacteurs à lits fluidisés sont très efficaces quant au transfert de matières et de chaleur, mais consomment moins d'énergie ; b, de loin les plus courants, les réacteurs à lit fixe ont une activité élevée par unité de volume ; c, moins efficaces, à durée de séjour de la matière égale à celle des réacteurs à lits fluidisés ou fixes, les dispositifs à lit agité sont cependant utilisables pour les substrats insolubles ou colloïdaux ; d, la technique à membrane enroulée augmente la surface de contact entre enzymes et réactifs. En associant une membrane porteuse d'enzymes et une membrane d'osmose inverse, on obtient un dispositif efficace de traitement des eaux usées.*




▲ *Figure 2 : trois types de supports, cinq modes de fixation (d'après la revue* Alimentation, *n° 59, C. F. E., 1977). Figure 3 : schéma de montage d'une réaction en flux continu sur réacteur-colonne fixe porteur d'enzyme immobilisée sur support (d'après la revue* Alimentation, *n° 59, C. F. E., 1977).*

le cas actuellement de la présure) font que l'on peut prévoir un certain développement de la technique des enzymes fixées qui, entre autres avantages, permet de faire une économie d'enzymes.

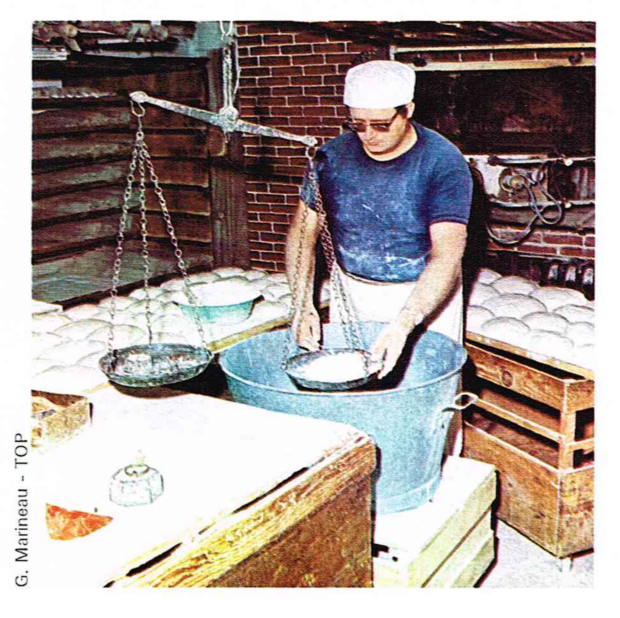
Voici quelques chiffres en millions de francs pour les principales enzymes utilisées dans l'industrie alimentaire aux États-Unis. Pour l'amyloglucosidase, qui transforme l'amidon en glucose, 8,5 millions en 1971, prévisions pour 1980 : 13 millions. Pour l'amylase bactérienne, utilisée en brasserie, 23 en 1971 et 42 en 1980. Pour la protéase utilisée en fromagerie et brasserie, 5 en 1971 et 23 en 1980. Pour la gluco-isomérase, largement utilisée actuellement aux États-Unis pour transformer le dextrose du sirop de glucose en fructose, 5 millions en 71, 30 en 1980.

L'industrie des enzymes est en plein développement. Les enzymes sont immobilisées de façon très diverse. Tout d'abord, elles peuvent être fixées sur support. La gamme des supports possibles est extrêmement vaste : polymères naturels (polypeptides), polymères synthétiques, verre poreux ou minéraux argileux. Le choix du support est un cas d'espèce, il se fait en fonction de la nature de l'enzyme et des caractéristiques du réacteur enzymatique utilisé (*fig.* 1). Il peut y avoir absorption des enzymes sur un support (*fig.* 2). On peut également greffer sur ce dernier un réactif fonctionnel qui va réagir avec l'enzyme. Souvent, on utilise un réactif bifonctionnel qui réagit à la fois avec le support et l'enzyme. L'enzyme peut être emprisonnée dans un réseau gel d'amidon ou de polymère synthétique (*fig.* 3).

Les enzymes encapsulées sont intéressantes sur le plan médical. Le substrat pénètre à l'intérieur de la capsule. Il est transformé par l'enzyme, et les produits de réaction sont libérés à travers la capsule. L'enzyme reste constamment isolée et, de ce fait, à l'abri de tous les processus immunologiques d'élimination.

Voyons les **propriétés** de ces enzymes immobilisées. Quel intérêt a-t-on à faire ces fixations ? Les enzymes fixées qui conservent leur spécificité permettent de travailler en continu, ce qui est extrêmement important sur le plan industriel. Elles donnent de meilleurs rendements et elles présentent une meilleure stabilité en température. Cette dernière caractéristique est intéressante, puisqu'elle permet, dans certains cas, d'accélérer la réaction sans compromettre la durée de vie de l'enzyme. A une même température, la durée de vie est augmentée dans des proportions importantes ; elle peut passer de quelques heures à l'état libre, à plusieurs mois à l'état fixé.

Les avantages des enzymes fixées sont appréciables. De ce fait, leurs **applications industrielles**, bien qu'encore relativement limitées, devraient prochainement se développer largement. Quelles sont les applications


G. Marineau - TOP

◀ *Les micro-organismes sont utilisés depuis très longtemps dans la fabrication de produits alimentaires comme le pain, mais on ne connaît que depuis un siècle environ les responsables de ces réactions.*

actuelles de ces enzymes immobilisées ? Aux États-Unis et en Italie, des usines pilotes utilisant la bêtagalactosidase fixée fabriquent des laits diététiques destinés aux personnes qui ne supportent pas le lait (en particulier les gens de race noire qui ne peuvent pas hydrolyser le lactose en glucose et galactose parce qu'il leur manque cette enzyme).

Le cas de la présure est très intéressant à considérer. Les disponibilités en cette enzyme sont de plus en plus réduites, tout simplement parce que la production de fromages augmente constamment alors que le nombre des veaux de lait diminue. L'Institut national de la recherche agronomique (INRA) s'est bien occupé de cette question et a déjà proposé des solutions, en particulier celle qui consiste à utiliser les enzymes fixées. La coagulation du lait par la présure se fait en deux temps. Dans le premier se produit l'hydrolyse enzymatique qui peut s'effectuer à basse température (10 °C). Dans le deuxième, on observe la coagulation (30 °C). La connaissance du mécanisme de la coagulation a été à l'origine de l'utilisation de la technique des enzymes fixées en fromagerie. Le lait à 10 °C passe dans un réacteur contenant de la présure fixée. L'enzyme fait son travail. Le lait sortant du réacteur est porté à 30 °C et caille. On peut travailler en continu et en utilisant une quantité extrêmement réduite de présure, grâce au système d'enzyme fixée. C'est un exemple qui illustre bien le travail qu'il est nécessaire de faire sur le plan fondamental pour pouvoir ensuite utiliser valablement les différentes techniques existantes. La technique des enzymes immobilisées a été appliquée dans des conditions optimales grâce à une connaissance approfondie des mécanismes fondamentaux de caillage du lait.

La glucose isomérase permet de transformer le dextrose en fructose. Il est possible d'augmenter ainsi le pouvoir édulcorant du sirop de glucose et d'obtenir de ce fait des matières sucrantes qui concurrencent directement le saccharose. Des unités de production utilisant la glucose isomérase fixée fonctionnent déjà aux États-Unis. L'amidon, dans un premier temps, est transformé quantitativement en glucose par l'amyloglucosidase fixée.

Des enzymes immobilisées sont utilisées dans la fabrication de la méthionine, acide aminé utilisé dans l'industrie de l'alimentation animale pour valoriser les protéines.

Une autre application industrielle des enzymes fixées appelée à un grand développement est la fabrication des capteurs. Dans l'industrie, pour réaliser l'automatisation des processus, on a besoin d'un nombre toujours plus grand de capteurs qui donnent des informations sur le déroulement des différentes opérations. Actuellement, ces capteurs sont en nombre limité, ils informent principalement sur les conditions de milieu (pH, température, pression, etc.). Les informations qu'ils fournissent ne sont pas toujours suffisantes. Il est quelquefois nécessaire de connaître l'évolution quantitative d'un composé, par exemple celle du glucose au cours de l'hydrolyse de l'amidon ou d'un acide aminé au cours d'une fermentation. La technique des enzymes immobilisées permet de réaliser ces capteurs qui sont constitués d'électrodes classiques recouvertes de membranes porteuses d'enzymes. Ces électrodes permettent, avec une très grande spécificité, de doser en continu un composé donné en se fondant sur une mesure de pH ou de potentiel d'oxydo-réduction. (A l'université de Compiègne, différentes électrodes de ce type, en particulier pour le dosage des acides aminés, ont été mises au point.) Des électrodes à enzymes fixées existent pour les sucres. Dans ce cas, l'électrode de base est une électrode polarographique, puisque c'est une concentration en oxygène que l'on mesure, les sucres étant oxydés en acide gluconique par voie enzymatique. On peut signaler pour mémoire toute une série d'applications médicales extrêmement intéressantes, dont l'examen dépasse le cadre du sujet traité. Enfin, sur le plan scientifique, la technique des enzymes fixées a permis de mieux comprendre les mécanismes d'action des enzymes en facilitant la réalisation de modèles expérimentaux.

Les enzymes immobilisées ne présentent pas que des avantages, elles posent également quelques problèmes. D'abord, leur prix de revient est relativement élevé. L'installation nécessaire est plus compliquée que dans le cas de l'utilisation d'enzymes non fixées. Les conditions optimales doivent être déterminées et le choix des supports effectué dans chaque cas particulier. La lutte contre la contamination bactérienne est plus préoccupante ici que dans les techniques traditionnelles.

L'intérêt de la fixation s'accroît lorsque le prix de revient de l'enzyme s'élève ou lorsque le procédé, ou la réglementation, exige que l'enzyme soit séparée du produit. (On ne risque pas de la retrouver dans le produit, puisqu'elle est liée à son support.) Évidemment, cette technique n'est applicable que si les produits sont en solution.

### *Techniques de séparation sur membranes*

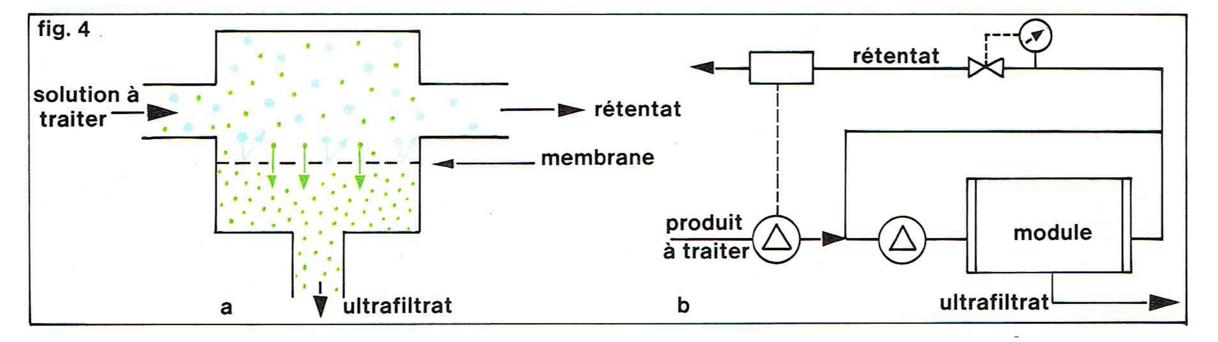
Ces techniques sont relativement anciennes, mais elles ont fait récemment l'objet de développements importants grâce, en particulier, aux progrès de la chimie des plastiques. Ainsi, les membranes ont pu devenir opérationnelles et, de ce fait, intéressantes sur le plan industriel.

On distingue trois types principaux de techniques de séparation sur membrane : l'électrodialyse, l'osmose inverse et l'ultrafiltration. L'**électrodialyse** effectue une action discriminatoire entre les composés dissous à l'état moléculaire et les composés dissous à l'état ionisé. L'**osmose inverse** permet de séparer le solvant du soluté. En fait, c'est un moyen élégant de concentrer les solutions. Quant à l'**ultrafiltration**, elle sépare les composés en fonction de la taille de leurs molécules. Ces trois techniques de séparation ne sont pas concurrentes. Elles permettent de résoudre des problèmes différents posés par certaines technologies. La technique de l'ultrafiltration va plus particulièrement être examinée.

Le principe de l'ultrafiltration est simple (*fig.* 4a et b) : les grosses et les petites molécules sont séparées les unes des autres par un passage à travers une membrane. Les petites molécules se retrouvent dans l'ultrafiltrat, et le rétentat est constitué des grosses molécules. Des filtrations efficaces et des débits élevés sont obtenus grâce à l'utilisation de membranes asymétriques ; ce sont des membranes dont la taille des pores est variable : gros au départ, les pores diminuent de taille dans le sens du déplacement du liquide. De plus, des mouvements turbulents assez efficaces sont nécessaires pour éviter la formation de couches limites, c'est-à-dire l'entassement des grosses molécules au niveau de la membrane.

L'acétate de cellulose, utilisé au début pour la fabrication des membranes, a été rapidement remplacé par le polychlorure de vinyle et les polystyrènes, plus résistants.

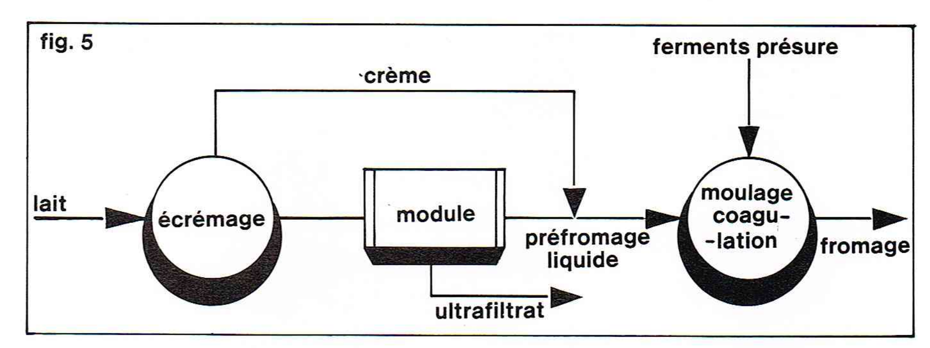
L'ultrafiltration est utilisée en laiterie pour la valorisation des sous-produits. Elle permet en particulier d'obtenir des fractions enrichies en protéines. Cette technique utilisée en fromagerie permet d'obtenir un concentré en protéines, sorte de préfromage (*fig.* 5). Les pertes sont réduites, puisque toutes les protéines solubles sont retenues,




▶ *Figure 4 : ultrafiltration : a, principe physique de séparation des graisses et des petites molécules ; b, schéma de l'installation (d'après la revue* Alimentation, *n° 59, C. F. E., 1977).*

contrairement à ce qui se passe en technologie fromagère traditionnelle. On fait agir la présure sur le préfromage. Il en résulte une économie en cette enzyme, puisque la quantité de matière traitée est plus faible. Globalement, le bilan est très positif ; d'une part, le rendement augmente du fait de la conservation des protéines solubles et, d'autre part, une moindre consommation de présure est nécessaire.

Ainsi, les techniques de séparation constituent un apport intéressant pour l'industrie alimentaire, principalement dans le domaine des sous-produits, mais également dans le cadre de technologies traditionnelles où elles interviennent d'une façon ponctuelle comme dans l'industrie fromagère.




▲ *Figure 5 : application de l'ultrafiltration en laiterie (d'après la revue* Alimentation, *n° 59, C. F. E., 1977).*

### *La cuisson-extrusion*

Cette technique introduit simultanément, en industrie alimentaire, la nouveauté des processus et celle des produits. Le principe consiste à cuire en continu sous l'action conjuguée de la température, de la pression et d'une agitation intense, une matière première ou un mélange de matières premières. Le produit est façonné à la sortie de l'extrudeuse.

Le très brusque passage à la pression atmosphérique crée une détente de la vapeur d'eau contenue dans le produit, ce qui entraîne une expansion de celui-ci. On obtient ainsi des produits très allégés. Les extrudeuses modernes comprennent essentiellement un fourreau chauffé (par circulation de vapeur d'eau, par chauffage électrique, ou par courant induit), une ou deux vis à la géométrie compliquée et variable suivant la nature des produits à traiter (il faut aussi tenir compte de la chaleur dégagée par le système de vis qui, du fait des frottements extrêmement importants, élève très rapidement la température de l'ensemble).

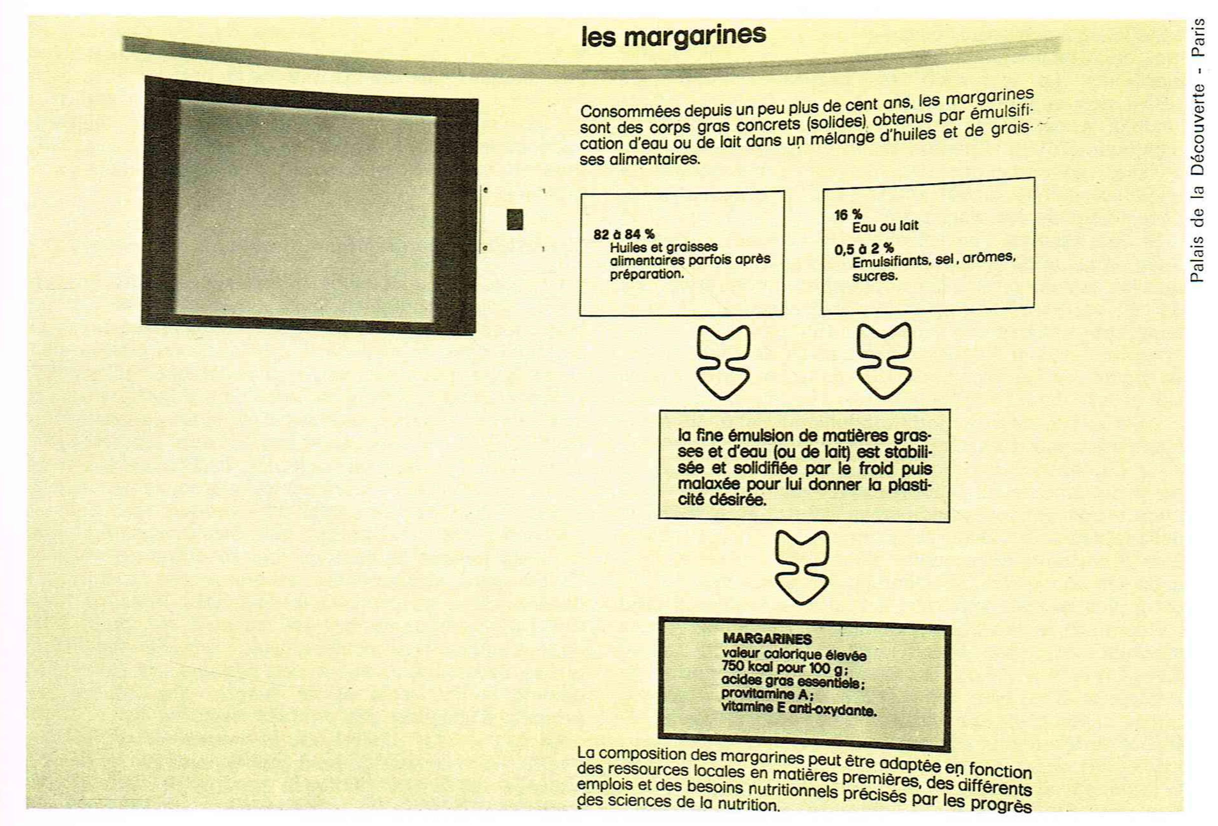
La durée du processus est extrêmement brève : de l'ordre de quelques secondes ; on observe une montée très rapide en température au cours de la cuisson-extrusion, suivie d'une chute tout aussi rapide au cours de l'expansion.

Les facteurs influençant la cuisson-extrusion sont : le débit d'alimentation, la vitesse de rotation et le nombre des vis ainsi que leur géométrie, l'hydratation du produit, qui joue un rôle très important, et enfin, évidemment, la température et la pression. La cuisson-extrusion est d'abord une technique de cuisson au sens propre, c'est-à-dire une technique qui entraîne des transformations physico-chimiques qui permettent d'obtenir des produits de bonne acceptabilité digestive. Dans le cas des produits amylacés, on observe, sur le plan chimique, des hydrolyses des molécules d'amidon plus ou moins importantes. Sur le plan physique, la désorganisation des réseaux pseudo-cristallins de l'amidon qui intervient au moment de la cuisson proprement dite est suivie au cours de l'extrusion d'une réorganisation partielle de ce système.

La cuisson-extrusion résulte d'un transfert technologique de l'industrie des plastiques, où elle est utilisée très largement, vers l'industrie alimentaire. Les « amuse-gueules », produits nouveaux que cette technique permet de fabriquer, ont pris un développement considérable ces dernières années. Contrairement aux autres techniques examinées, la cuisson-extrusion ne s'intègre pas dans une technologie traditionnelle, elle est surajoutée, elle représente en elle-même une technologie.

Il ne faut pas croire que les possibilités de la cuisson-extrusion soient limitées à l'obtention de gadgets alimentaires. Elles peuvent, au contraire, s'étendre à d'autres domaines : farines instantanées pour enfants, produits de confiserie, protéines texturées. Dans ce dernier cas, la cuisson-extrusion est plus rentable et beaucoup plus facile à appliquer que le filage des protéines.

La cuisson-extrusion présente des inconvénients, en particulier au niveau de la coloration et de l'aromatisation des produits. Ses avantages sont : matériel peu encombrant, entretien facile, frais de fonctionnement relativement faibles, procédé continu et extrêmement bref.




Palais de la Découverte - Paris

◀ *La margarine : un exemple bien connu de « produit nouveau » imitant un produit traditionnel, le beurre.*

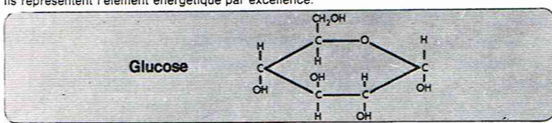
▶ ***Glucides, protides et lipides sont les trois grands groupes de substances composant essentiellement les aliments.***



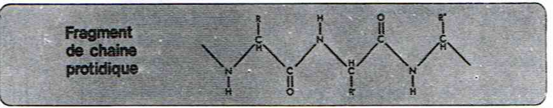

eux-mêmes dans l'ensemble du monde vivant :
- les oses pour les glucides
- les acides aminés pour les protides (ou protéines)
- les acides gras pour les lipides.

Ce sont les fournisseurs de l'énergie et des éléments de synthèse.

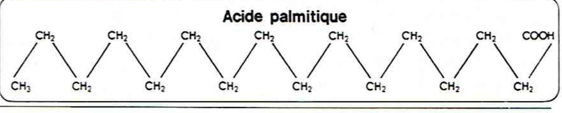
**les glucides :** Les glucides sont des composés largement répandus dans la nature : le sucre, l'amidon, la cellulose, le glycogène sont les plus connus. Les plus simples d'entre eux ont une saveur sucrée dont ils tirent leur nom (glucis = doux).
Ce sont des composés le plus souvent ternaires : carbone, hydrogène et oxygène. Ces 2 derniers sont dans la même proportion que dans l'eau, mais ce fait est sans signification. Ils sont composés de chaînons carbonés assymétriques porteurs de fonction hydroxyle (alcool) ou carboxyle (cétone ou aldehyde).
Ils représentent l'élément énergétique par excellence.




**les protides :** Les protides sont identifiés communément avec la chair des animaux, mais on les trouve également dans les vegétaux.
Ils sont composés essentiellement de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote (composés quaternaires).
Les protéines sont constituées de chaînes d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons peptidiques. La longueur de ces chaînes est très variable : de quelques acides aminés (8 pour la vasopressine ou l'ocytocine) jusqu'à plusieurs milliers.
Pour une même protéine leur nombre et leur ordre sont strictement déterminés selon le code génétique.
Ce sont les éléments fondamentaux des structures des cellules vivantes. Ils ont les fonctions les plus variées : matériau de constitution, régulateur du métabolisme, fournisseur d'énergie.




**les lipides ou corps gras :** Les lipides sont des composés ternaires caractérisés par leur insolubilité dans l'eau et les milieux aqueux organiques, leur solubilité dans l'éther, le benzène, le chloroforme.
Ils sont constitués d'acides gras combinés le plus souvent à l'état naturel à un trialcool : le glycérol (sous forme de triglycérides), parfois à une amine alcoolique.
Ce sont essentiellement des éléments de réserve (importante énergie chimique sous un faible volume), mais également des éléments de structure importants (certains organites cellulaires, membranes endoplasmiques, fibres nerveuses).




Aucun aliment n'est vraiment "complet" et ne suffit à une alimentation humaine équilibrée. La plupart d'entre eux ont une dominante dans leurs qualités nutritionnelles et la nature de leur apport. Ceci permet de les réunir en grands groupes.

Palais de la Découverte - Paris

La cuisson-extrusion est un cas particulier. Elle peut à la limite être considérée comme une technologie, puisqu'elle part des matières premières pour arriver au produit fini. Cette technologie originale pour les industries alimentaires permet d'obtenir des produits nouveaux. Bien que de nombreux efforts soient faits pour élargir ses possibilités, il ne semble pas qu'elle puisse valablement s'insérer dans les technologies traditionnelles, et encore moins les remplacer.

Il est intéressant de noter que les trois techniques examinées, bien que fort éloignées les unes des autres, bénéficient à des degrés divers du même transfert technologique ayant son origine au niveau de la technologie des plastiques. La technique des enzymes immobilisées utilise des supports en polymères synthétiques, dont l'emploi a permis de rendre opérationnelle l'ancienne technique de l'ultrafiltration. Enfin certaines extrudeuses utilisées en industries alimentaires correspondent, à quelques petites modifications près, à celles utilisées dans l'industrie des plastiques.

Si l'on examine l'ensemble des techniques nouvellement appliquées à l'industrie alimentaire, on constate qu'elles se sont surtout développées en amont et en aval de celle-ci. En amont, on trouve les industries qui fabriquent des matières premières pour l'industrie alimentaire, et parmi celles-ci l'industrie des dérivés de l'amidon où, en particulier, la technique des enzymes immobilisées est utilisée pour la fabrication de l'isomérose. En aval, c'est la valorisation des sous-produits qui fait appel à des techniques nouvelles comme les techniques de séparation pour l'obtention de fractions enrichies en protéines à partir de lactosérum. Dans les deux cas, amont et aval, nous avons des industries jeunes qui ont eu à résoudre des problèmes nouveaux relativement simples par rapport à la fabrication de produits alimentaires, sans avoir à subir les contraintes de technologies existantes.

De plus, et c'est important à souligner, la composition chimique et le comportement biophysico-chimique des produits traités sont généralement connus, ce qui permet d'appliquer la technique au moment le plus opportun du processus. C'est bien loin d'être le cas pour les technologies alimentaires qui, rappelons-le, ont surtout bénéficié d'améliorations portant sur la continuité et l'automatisation des processus dans le dessein d'augmenter la productivité. Quelques technologies verticales traditionnelles ont toutefois fait l'objet de recherches fondamentales, par exemple la fromagerie. Il est alors possible d'utiliser une technique nouvelle au bon endroit dans les meilleures conditions d'efficacité et de rentabilité.

Dans la plupart des cas, les techniques extérieures, pour ne pas les appeler nouvelles, ont des difficultés à s'inclure dans des technologies traditionnelles de fabrication des aliments. Il semble que ce qui limite les transferts technologiques soit actuellement le faible niveau des connaissances des mécanismes des processus de fabrication. Les transformations importantes qui entraînent les transferts nécessitent des investissements qu'hésitent à faire les industriels de l'industrie alimentaire, peu enclins à prendre des risques. Ceux-ci peuvent être d'autant plus grands que les techniques extérieures ne seront pas appliquées au mieux de leur efficacité et de leur rentabilité, la conséquence de cette mauvaise application étant l'obtention de produits finis aux qualités plus ou moins éloignées de celles des produits traditionnels.

### *Techniques nouvelles et produits nouveaux*

Une technique nouvelle ne donne pas automatiquement un produit nouveau. Dans la mesure où elle s'intègre bien à une technologie traditionnelle, elle peut permettre d'obtenir dans de meilleures conditions un produit classique. Si, à elle seule, elle représente une technologie, comme la cuisson-extrusion, elle peut donner naissance soit à des « produits nouveaux » (produits expansés pour apéritif), soit à des produits traditionnels (confiserie). A l'opposé, avec des technologies traditionnelles, il est tout à fait possible de fabriquer des « produits nouveaux ».

Les critères de nouveauté d'un produit sont difficiles à définir *a priori*. Un produit peut être considéré comme nouveau lorsque sa composition, sa présentation ou sa finalité sont suffisamment différents de ce que l'on observe dans les produits traditionnels. Mais les habitudes alimentaires sont si solides qu'il est très difficile de s'en écarter. Il en résulte que les « produits nouveaux » qui se développent, mis à part certains cas particuliers comme le coca-cola et les snacks, sont en fait des produits d'imitation des produits traditionnels.

Le cas le plus célèbre est la margarine qui imite le beurre. Actuellement on peut citer les protéines végétales texturées qui tentent d'imiter la viande et le *High Fructose Corn Sirup* (HFCS).




Burk Uzzle - Magnum

◀ *Alignement de conserves dans un supermarché : l'aliment n'est pas directement visible ; c'est avec l'emballage que le consommateur a le premier contact.*

▼ *Poule, citron, céleri, beurre, oignons, vin blanc... tout ce qu'il faut pour une bonne recette à la française.*

## LES ALIMENTS

La *fonction de nutrition* consiste pour l'animal à intégrer à son organisme certains composés du milieu extérieur afin de lui permettre de vivre. Ces composés ou nutriments se trouvent dans les « aliments » qui peuvent être considérés comme des substances complexes recherchées par l'animal pour satisfaire ses besoins nutritionnels. Ils ont un contenu *psychosensoriel et affectif* qui leur permet d'être sélectionnés parmi l'ensemble des substances de l'environnement de l'animal.

Le contenu psychosensoriel d'un aliment, c'est-à-dire son apparence (couleur, forme), son goût, son arôme, sa texture, joue un rôle primordial dans sa sélection par l'animal, et également dans le plaisir que celui-ci éprouve en le consommant. A tel point que l'homme ou les animaux affamés peuvent restés indifférents à des nutriments chimiquement purs qui leur seraient proposés et qui leur permettraient pourtant de survivre. A l'inverse, des produits sans nutriments, mais pourvus d'un contenu psychosensoriel, seront sélectionnés et ingérés par l'animal sans, bien entendu, le nourrir.

Instinctivement, les animaux savent établir des relations entre les qualités sensorielles et la valeur nutritive des aliments. Ils arrivent à équilibrer leurs repas de façon à satisfaire parfaitement leurs besoins physiologiques tout en mangeant ce qu'ils aiment et désirent.

Il est ainsi remarquable de constater que, dans des conditions de totale liberté alimentaire, la stabilité pondérale de l'animal est maintenue avec une extrême précision grâce à de subtils mécanismes de régulation. L'homme, dans les sociétés évoluées, possède encore cette aptitude qui lui permet d'équilibrer ses repas, bien qu'elle soit émoussée par les conditions artificielles d'existence et culturellement déviée. Encore faut-il que cette aptitude puisse s'exercer. Très souvent, l'aliment industriel n'est pas directement visible, et c'est avec l'emballage que le consommateur a le premier contact. L'aliment lui-même est si profondément et si souvent modifié que plus aucun système de référence ne permet de le situer, de le choisir. Ingérer un aliment dans une société industrielle n'est plus un acte de responsabilité individuelle mais collective. Le mouvement des consommateurs peut s'expliquer en partie par la frustration née de ce transfert de responsabilités.

Le relâchement des liens au sein de la famille ou



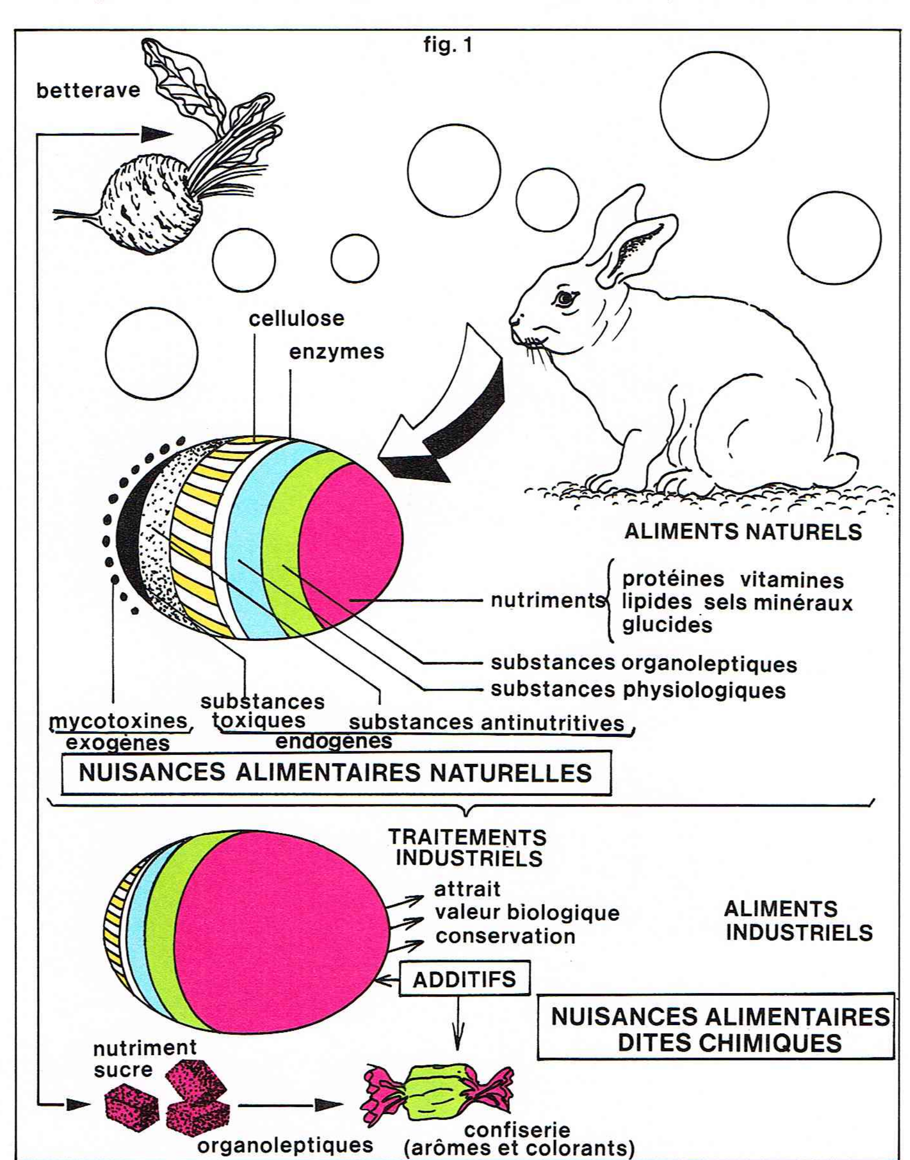
Mark Antman - Fotogram



E. Boubat - Top

▲ *L'alimentation est une des relations privilégiées fondamentales qui s'établissent entre parents et enfants.*

▼ *Figure 1 : de nombreuses substances entrent dans la composition des aliments.*




même la ruine de ses structures traditionnelles ont de nombreuses causes, parmi lesquelles il faut retenir l'alimentation. Les relations privilégiées fondamentales qui s'établissent entre enfants et parents naissent de l'aliment. Par la suite, la mère transforme et valorise les aliments que le père a sélectionnés et acquis dans des conditions difficiles, quelquefois au péril de sa vie comme l'homme préhistorique. Dans les sociétés modernes, les enfants s'aperçoivent très vite que le père n'a qu'un rôle modeste dans la vie de la famille, elle-même située dans un environnement pléthorique. Quant à la part de la mère dans la transformation et la valorisation des aliments, elle est généralement peu importante, et même souvent inexistante. La cellule familiale n'est plus seule à offrir la sécurité essentielle, celle de la nourriture. Elle s'en trouve dévalorisée.

## Définition des aliments

Les aliments, dans le cas le plus général, peuvent contenir, outre les nutriments ou trophines :
— de l'eau;
— des substances non métabolisées (cellulose pour l'homme);
— des corps à action pharmacodynamique (alcaloïdes, théobromine, caféine, etc.);
— des enzymes;
— des substances antinutritives ou toxiques.
— des composés donnant aux aliments leur contenu psychosensoriel (arômes, colorants);

Les nutriments ou trophines n'existent pas à l'état libre dans la nature. Ils jouent un rôle biochimique fondamental. Ils se répartissent en cinq grands groupes de composés : les protéines, les lipides, les glucides, les sels minéraux et les vitamines.

### *Les protéines*

Ce sont de grosses molécules se présentant en longues chaînes dont les maillons sont constitués d'acides aminés, c'est-à-dire de molécules possédant à la fois une fonction acide et une fonction amine. Les différents acides aminés sont liés entre eux par des liaisons peptidiques.

Les différentes molécules de protéines se distinguent les unes des autres par le nombre total, la nature et les proportions des acides aminés qui les composent. De ce fait, le nombre des molécules de protéines possible est considérable.

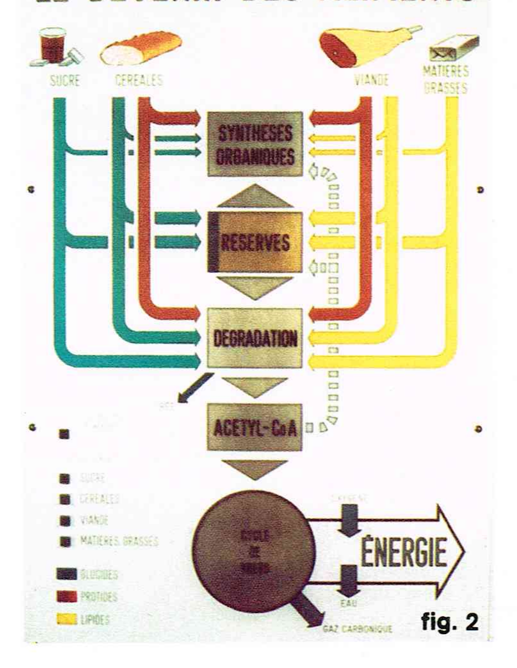
Il existe une vingtaine d'acides aminés différents dans les protéines, dont huit ne peuvent être synthétisés par l'organisme humain adulte; ce sont les *acides aminés essentiels :* méthionine, thréonine, tryptophane, isoleucine, leucine, phénylalanine, lysine, et valine.

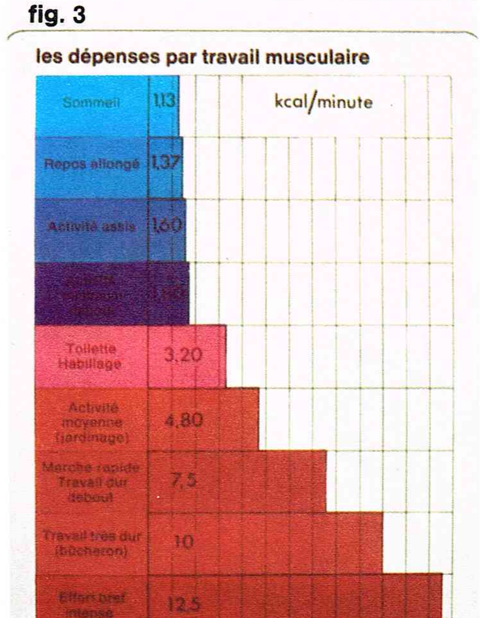
Les besoins en acides aminés essentiels ont été fixés par les experts de la FAO/OMS. Ils varient en fonction de nombreux facteurs : âge, sexe, activité exercée, climat, etc. Les chiffres suivants sont valables pour un individu dont l'âge est compris entre vingt et quarante ans et dont l'activité est modérée. Ils sont exprimés en mg par kg de poids vif et par jour :

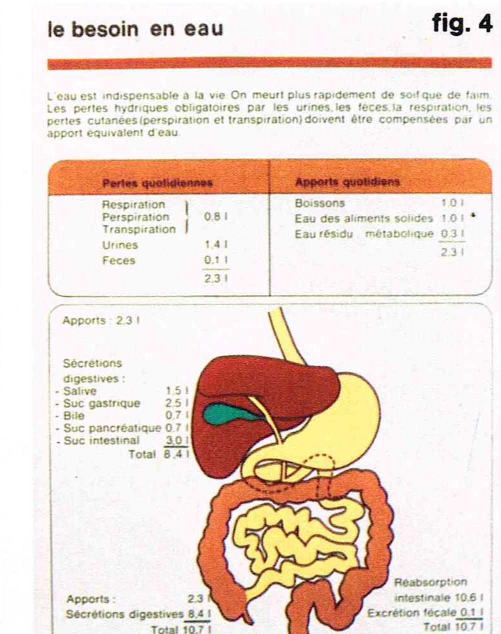
| *Acides aminés* | |
|---|---|
| histidine | 0 |
| isoleucine | 10 |
| leucine | 14 |
| lysine | 12 |
| méthionine + cystine | 13 |
| phénylalanine + tyrosine | 14 |
| thréonine | 7 |
| tryptophane | 3,5 |
| valine | 10 |

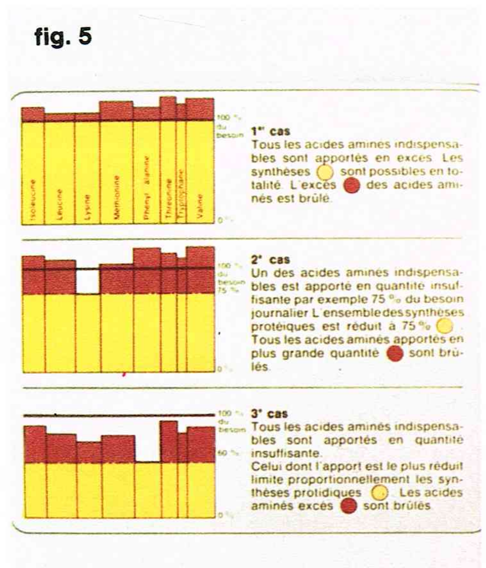
Par exemple, un homme de 70 kg âgé de 35 ans et ayant une activité modérée aura besoin chaque jour de (10 × 70) 700 mg d'isoleucine et de (12 × 70) 840 mg de lysine.

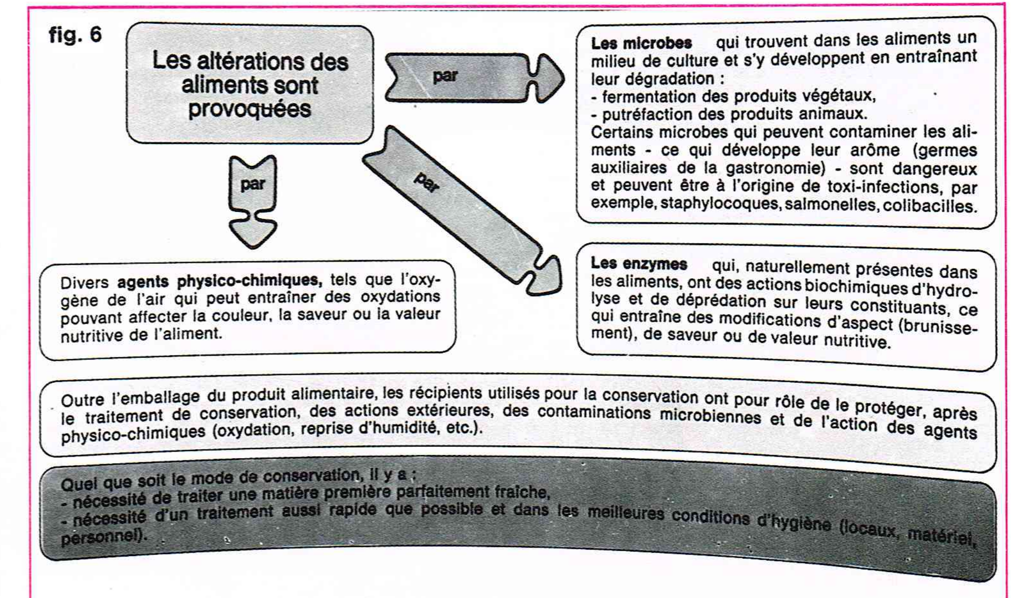
Chez l'enfant, les besoins en acides aminés sont relativement plus élevés, la constitution des tissus au cours de la croissance nécessitant une quantité importante de protéines. De plus, l'histidine est pour la première année de la vie un acide aminé indispensable. Pour satisfaire les besoins en protéines de l'organisme humain, les acides



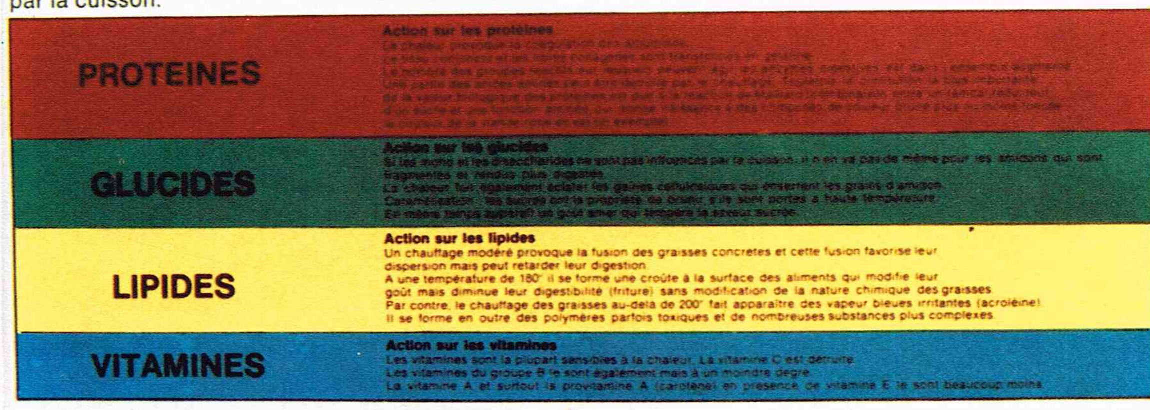




**Les modifications apportées par la cuisson** **fig. 7**

Beaucoup d'aliments d'origine animale peuvent être digérés à l'état cru mais la cuisson accentue leur saveur et ramollit les fibres conjonctives.
Les aliments végétaux ne peuvent être consommés crus qu'en quantité limitée. La cuisson ramollit les gaines cellulosiques et rend l'amidon plus digeste. Certains principes nocifs des aliments sont éliminés par la cuisson.




Six documents Palais de la Découverte - Paris

*▲◀ Figure 2 : le devenir des aliments.*
*Figure 3 : les dépenses par travail musculaire.*
*Figure 4 : le besoin en eau.*
*Figure 5 : les acides aminés indispensables.*
*Figure 6 : la conservation des aliments.*
*Figure 7 : les modifications apportées par la cuisson.*



L. Rousseau - Top

▲ *Les protéines d'origine animale présentent la plus grande valeur biologique. Le poisson, en particulier, apporte des acides aminés correspondant au besoin physiologique de l'homme.*

aminés doivent être présents simultanément en qualité et en quantité dans la ration alimentaire.

### Sources de protéines

Les deux principales sources sont les animaux et les végétaux ; une troisième, bien qu'actuellement pondéralement très faible, commence à être prospectée : les micro-organismes.

Les *protéines d'origine animale* présentent la plus grande valeur biologique, c'est-à-dire qu'elles renferment les acides aminés essentiels dans les proportions qui sont plus ou moins proches de celles correspondant aux besoins physiologiques de l'homme. Ce sont également les plus chères. Ces protéines se trouvent dans la viande, le poisson, les œufs, le lait et ses dérivés. Ce groupe d'aliments couvre une très large part des besoins en protéines des Français.

Les *protéines d'origine végétale*, surtout celles provenant de céréales, qui servent de base à l'alimentation d'une grande partie de la population du monde, sont déficientes en certains acides aminés essentiels, en particulier la lysine. Ces protéines, bien qu'en constante diminution relative par rapport aux protéines animales, représentent encore une part importante des protéines totales de la ration de l'habitant des pays développés.

Les protéines végétales peuvent satisfaire les besoins en acides aminés essentiels à condition que la ration fasse appel à un nombre suffisant de sources, de façon que les différents acides aminés essentiels soient présents qualitativement et quantitativement.

D'autres sources de protéines végétales sont actuellement prospectées : protéines de feuilles, de tourteaux d'oléagineux (en particulier du soja), de champignons.

Enfin, les *protéines microbiennes* pourraient apporter quelques compléments aux disponibilités en protéines.

### Rôle des protéines

Les protéines ont un rôle plastique, elles forment et renouvellent les différents tissus. Elles entrent dans la constitution des enzymes biocatalyseurs qui sont à la base de toutes réactions vitales. Elles interviennent dans les processus immunologiques.

Une bonne composition en acides aminés essentiels est une condition nécessaire mais non suffisante pour satisfaire les besoins en protéines d'un organisme. Il faut que ces acides aminés soient disponibles. Une ration équilibrée contient environ 12 % de protéines qui doivent pouvoir être transformées en acides aminés par les enzymes au cours de la digestion. C'est en effet sous cette forme d'acides aminés que les protéines traversent la barrière intestinale et sont utilisées par l'organisme.

La digestibilité est fonction :

— de l'origine des protéines (les animales sont plus digestibles que les végétales) et de leur état (les protéines chauffées et dénaturées sont digérées plus facilement) ;

— de la présence dans la ration de substances antinutritives, en particulier des substances antiprotéines génétiques qui inhibent les enzymes (notamment la trypsine) qui hydrolysent les protéines ;

— des variations individuelles dans l'équipement enzymatique ; certaines personnes ne peuvent hydrolyser jusqu'au stade acides aminés des protéines, par exemple celles de l'œuf ou du poisson. Cela a pour conséquence immédiate une mauvaise utilisation des protéines de la ration et quelquefois, si une partie de ces protéines est absorbée par la muqueuse intestinale, le déclenchement de manifestations allergiques plus ou moins graves, signe d'intolérance de l'organisme vis-à-vis de ces protéines qui se comportent alors comme de véritables antigènes ;

— au cours de la digestion normale, les protéines subissent une série d'actions enzymatiques dont les principales sont sous le contrôle de la pepsine et de la trypsine. La première intervient dans l'estomac en milieu acide en fragmentant les longues chaînes protidiques en tronçons plus courts, les polypeptides. Ceux-ci, au cours du tractus intestinal, seront en partie hydrolysés en acides aminés par la pepsine en milieu basique. L'action sera complétée par une autre enzyme, l'érepsine.

Après passage au travers de la barrière intestinale, les acides aminés servent pour une très large part à édifier ou à renouveler les protéines tissulaires par le processus inverse de l'hydrolyse observé au cours de la digestion. Le rendement de l'opération est d'autant meilleur que les acides aminés se retrouvent dans le plasma dans des proportions plus proches de celles observées pour les protéines tissulaires. Dans le cas contraire, une partie plus ou moins importante d'acides aminés pourra être métabolisée avec production d'énergie et formation de déchets azotés.



Petit - Fotogram

◀ *L'œuf est donné très tôt en nourriture aux enfants. La protéine de l'œuf est la protéine de référence.*

**Valeur biologique des protéines**

Elle est en relation avec la composition en acides aminés essentiels, et fonction de l'un ou de plusieurs d'entre eux qui s'y trouvent en quantités insuffisantes et qui deviennent de ce fait des facteurs limitants. La protéine de l'œuf est la protéine de référence. Elle ne contient aucun facteur limitant. Les protéines du lait et de légumineuses présentent respectivement une légère et une forte déficience en méthionine. Les protéines des céréales contiennent de faibles quantités relatives de lysine.

Ces défauts nutritionnels peuvent être corrigés soit par un mélange judicieux de différentes protéines se complétant réciproquement, soit en ajoutant à la protéine déficiente le ou les acides aminés (obtenus par synthèse) qui lui manquent. Cette intersupplémentation entre protéines ou la supplémentation par des acides aminés de synthèse s'effectue très couramment et très précisément dans l'industrie de l'alimentation animale pour l'établissement des formules d'aliments.

L'intersupplémentation est réalisée instinctivement par les animaux omnivores qui recherchent une alimentation diversifiée. Par exemple, les protéines des céréales dont le facteur limitant est la lysine sont très valorisées par des protéines de légumineuses, de viande (ou encore de levure ou d'algue, riches en lysine).

La diversification des aliments est en rapport avec le niveau de vie des populations. Les habitants des régions sous-développées ont très peu d'aliments à leur disposition. Le riz est l'aliment principal d'une grande partie des populations d'Asie. A l'opposé, les habitants des pays développés disposent d'une gamme importante d'aliments qui s'élargit considérablement au niveau des classes aisées de ces pays.

Comme l'intersupplémentation n'intervient que très peu ou pas du tout dans le cas d'une alimentation très peu ou non diversifiée, la qualité nutritionnelle des aliments doit être bonne.

▼ *Les habitants des pays sous-développés ont une nourriture très peu diversifiée; le riz est l'aliment principal en Asie (à gauche); à l'opposé, les habitants des pays développés disposent d'une gamme importante d'aliments (à droite).*



E. Boubat - Top



Magnum

▶ *Culture de soja; cette légumineuse est cultivée surtout en Chine, en Asie orientale et aux États-Unis.*



Marka

▶ *Page ci-contre, les céréales fournissent 50 % des protéines consommées dans le monde. Dans les pays développés, leur culture est mécanisée à l'extrême et vise à de hauts rendements.*

Pour la FAO, les protéines constituent le nœud du problème alimentaire mondial, mais l'importance de cette question ne doit pas faire oublier le rôle fondamental joué dans les cas de malnutrition par d'autres nutriments comme les vitamines ou les sels minéraux, quelquefois négligés.

En comptant en moyenne 55 g de protéines par habitant et par jour, il faut, pour nourrir la population du globe, 60 millions de tonnes de protéines par an. La production est de 70 millions de tonnes environ. Les pertes par gaspillage sont importantes, mais c'est surtout le déséquilibre nutritionnel entre les pays riches (surconsommation) et les pays pauvres qui crée le problème préoccupant de la malnutrition. Le problème est aggravé par le fait que les pays nantis sont séparés des pays déficitaires, géographiquement certes, mais également de bien d'autres façons.

▼ *Culture expérimentale du maïs.*



D. Czap - Top

A cet aspect quantitatif s'ajoute le problème qualitatif. La relativement faible quantité de protéines dont disposent les pays en voie de développement est constituée de protéines à faible valeur biologique, généralement carencées en lysine. Comme il n'est pas question de répartir équitablement les protéines disponibles, il faut trouver de nouvelles sources pour résoudre le problème de la malnutrition dans le monde. Plusieurs solutions peuvent être envisagées :

— améliorer les rendements des céréales qui fournissent 50 % des protéines consommées dans le monde, 37 % dans les pays développés, 57 % dans les pays en voie de développement;

— sélectionner des variétés à hautes teneurs en protéines comme le maïs mutant opaque 2 qui est également riche en lysine;

— obtenir des protéines à partir de soja, de fourrages, d'algues, de micro-organismes (levures, champignons, bactéries).

### Consommation et productions nouvelles

★ Les *protéines animales* (viandes, œufs, poissons, lait) représentent environ le tiers des protéines consommées dans le monde (16 % dans les pays les plus défavorisés, 70 % aux États-Unis, 50 % en Europe avec l'URSS, 2/3 en France).

Leur prix est élevé, 1 hectare produit par an : 100 kg de protéines de bœuf, 500 kg de protéines de blé, 3 000 kg de protéines de fourrage si celui-ci est cultivé, 1 500 kg s'il s'agit de prairies naturelles. Dans le cas de certaines algues, on peut atteindre 30 000 kg de protéines.

Le tiers de la production d'aliments est utilisé pour l'élevage de bétail (viandes, lait). Le rendement de conversion est faible. Pour qu'il produise 1 kg de protéines animales, il faut donner à un bœuf 7 kg de protéines végétales.

★ On peut utiliser directement certaines *protéines végétales* (oléagineux, luzerne) de composition proche de celle des protéines animales.

Le tourteau de soja dégraissé contient environ 50 % de protéines. Le prix de revient de ces protéines représente 3 % du prix de revient de la viande de bœuf. Le tourteau de soja, qui a été longtemps un sous-produit de l'extraction de l'huile de soja, est maintenant devenu

un produit noble. Les *protéines de soja* sont déjà largement utilisées dans les industries alimentaires en panification, dans la fabrication de produits d'imitation du lait (en Californie, notamment, le lait de soja représente le 1/5 du lait consommé; Nestlé tente de produire un lait purement végétal dans le Sud-Est asiatique; les sachets de lait en poudre qui accompagnent les repas d'avions sont souvent constitués de produits végétaux), en remplacement des protéines de viande en charcuterie. Ces protéines peuvent être texturées, puis additionnées de matières grasses, d'arômes, de vitamines, et supplémentées en acides aminés, et imiter de ce fait la viande. Il existe aux États-Unis toute une série de viandes végétales.

De 1959 à 1974, la consommation en France de protéines végétales a diminué de 30 % pour les céréales, de 21 % pour les pommes de terre. Pendant la même période, la consommation de protéines animales a augmenté de 30 % pour la viande, et 70 % pour les produits laitiers (fromages).

La consommation globale de viande aux États-Unis a triplé ces vingt dernières années. Les éléments rationnels comme la prise de conscience nutritionnelle semblent entrer pour une faible part dans l'explication de cet accroissement de la consommation. L'élévation du niveau de vie dans ce domaine, au lieu de développer le culturel, ne permet, semble-t-il, que de mieux satisfaire l'instinct.

La viande conserve dans nos sociétés modernes le symbolisme qu'elle avait dans les peuplades primitives. Il est évident que, même si elles sont enfouies dans le subconscient, les images de puissance animale liées à la viande motivent la consommation de plus en plus importante de celle-ci. Plus le niveau de vie augmente, plus l'individu s'éloigne de la nature. Le micro-environnement sécurisant qu'il a su créer autour de lui l'a rendu progressivement vulnérable dans le milieu naturel en diminuant sa force physique et ses capacités instinctuelles. Conscient de cette faiblesse biologique, il recherche des compensations en consommant des aliments symboles de la puissance animale.

L'homme des peuplades primitives, en mangeant tel ou tel organe de son ennemi, pense ainsi lui prendre sa force, son intelligence ou son habileté. La viande rouge garde encore dans nos sociétés une puissance symbolique très grande, surtout si elle est saignante. On pense qu'un anémique va retrouver sa vigueur en la consommant, qu'elle va lui redonner « du sang ». Il est intéressant de noter par exemple quelles différences symboliques considérables présentent les viandes blanches et les viandes rouges.

Des considérations économiques tendent à s'opposer à cet accroissement constant de la consommation de viande.

En France, pour produire le demi-million de tonnes de protéines animales consommées (qui représente les deux tiers des protéines totales), il faut utiliser plus de 8 millions de tonnes de protéines végétales, parmi lesquelles un demi-million de tonnes de *protéines de soja importées*.

Il est tentant, sur un plan purement rationnel, de « court-circuiter » l'animal en fabriquant des protéines semblables en partant directement des protéines végétales. Dans cette tentative, deux types de problèmes sont rencontrés : l'imitation nutritionnelle et l'imitation organoleptique de la viande. Le premier peut être résolu facilement. La composition en acides aminés du soja est proche de celle de la viande et peut facilement être ajustée grâce à l'utilisation judicieuse d'acides aminés, éventuellement d'oligo-éléments. Le deuxième est plus complexe. Il comprendra l'aromatisation et la texture.

En fait, sur le plan de la composition chimique, il est relativement facile de reproduire un aliment proche de la viande en ajoutant aux protéines végétales équilibrées de la graisse, des glucides, des vitamines, et également un arôme ou des précurseurs d'arômes qui développeront, au cours de la cuisson, l'arôme-viande choisi (d'excellents arômes-viande sont maintenant fabriqués, en utilisant généralement la réaction de Maillard). Ces produits imitant la viande peuvent intervenir dans différents produits de charcuterie et dans des plats cuisinés.

La texture, facteur essentiel d'une bonne acceptabilité des AVIV (aliments végétaux imitant la viande), peut être obtenue grâce à deux techniques : l'extrusion et le

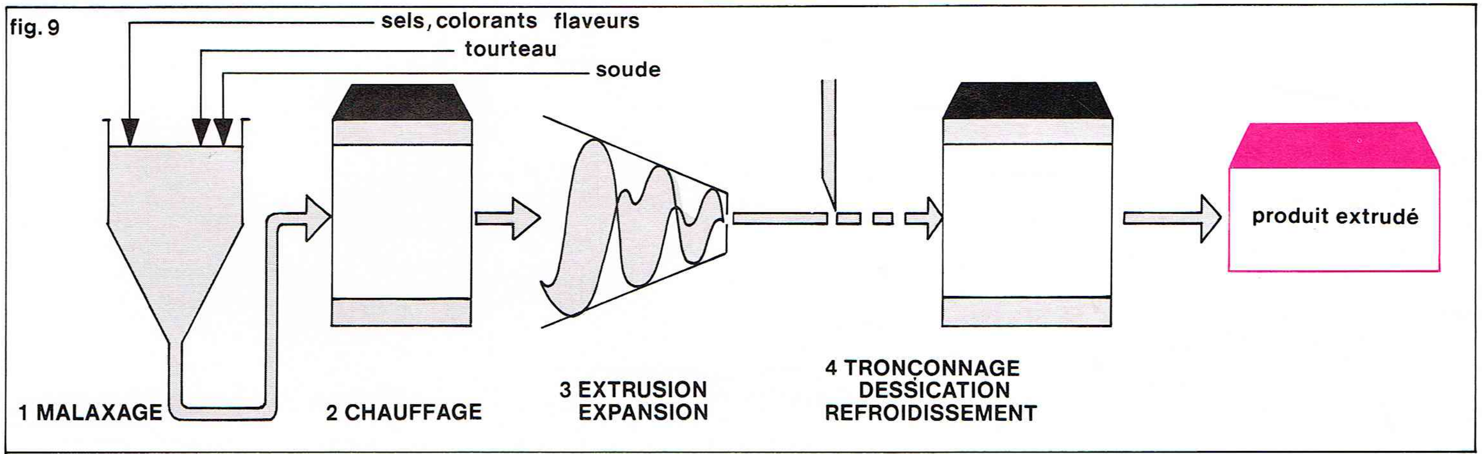


Marka

fig. 8

graines ou tourteau
+ solution alcaline
protéines solubilisées
acide
produits solubles non protéiques
centrifugeuse
résidus insolubles
1 EXTRACTION DES PROTÉINES
2 ÉLIMINATION DU RÉSIDU ET STOCKAGE
3 PRÉCIPITATION DES PROTÉINES
précipité de protéine
3 bis SÉCHAGE
dessicateur
isolats protéiques
soude
4 MALAXAGE
5 FILTRATION
collodion protéique

buse à filer
mèche
collodion protéique
colorants flaveurs sels minéraux vitamines
colorants flaveurs sels minéraux vitamines
protéines texturées
6 FILAGE EN MILIEU ACIDE
7 LAVAGE DE LA MÈCHE
8 INCORPORATION DES ADJUVANTS
9 MISE EN FORME ET TRONÇONNAGE




▲ *Figure 8: extraction sélective, filage et texturation de protéines végétales. Figure 9 : thermo-extrusion de tourteaux riches en protéines.*

filage. Ces techniques essaient de reproduire la structure fibrillaire de la viande.

● Il y a deux générations de *produits extrudés*. La première s'obtient à partir de tourteaux d'oléagineux renfermant environ 50 % de protéines. Le tourteau subit un traitement alcalin ; il est aromatisé et coloré, puis extrudé à 150 °C. Dans la deuxième génération de produits extrudés, la texture se rapproche de celle que l'on obtient par filage.

La masse constituée de farine de tourteau d'oléagineux, turbo-séparée et renfermant environ 60 % de protéines et d'eau, est portée à 250 °C et soumise à des actions mécaniques très énergiques, puis extrudée au travers de filières de très petits diamètres. Au cours de l'expansion des fibres, une partie de l'eau est vaporisée ; on peut obtenir un produit final ayant une humidité de l'ordre de 7 %. Le but des actions mécaniques obtenues grâce au choix judicieux des profils de vis est de détruire les structures quaternaires et tertiaires des protéines globulaires afin de les « dérouler ». La pression et les contraintes mécaniques imposées au moment du passage dans la filière orientent les molécules parallèlement et favorisent ainsi la formation de liaisons intermoléculaires (liaisons hydrogène, ponts disulfure) qui stabilisent, avec la dénaturation entraînée par le choc thermique, la texture fibrillaire obtenue. Le produit ainsi formé a une capacité de réhydratation qui peut aller jusqu'à 4 fois le poids de matières sèches.

● L'obtention de protéines texturées par *filage* est plus complexe. Elle nécessite tout d'abord de partir de protéines purifiées. Cette purification comprend une dissolution des protéines en milieu alcalin, une séparation de ces protéines par filtration ou centrifugation, enfin une précipitation en milieu acide. Elle est donc relati-

vement complexe, mais, en contrepartie, elle présente l'avantage de pouvoir utiliser pratiquement toutes les sources de protéines, et en particulier les fourrages ou les feuilles.

Pour le filage, on forme en milieu alcalin une pâte, qui passe sous pression à travers des bacs immergés dans un milieu acide où les protéines coagulent. Les fibres obtenues, de quelques micromètres de diamètre, sont lavées, puis organisées en faisceaux réunis entre eux par des liants contenant lipides, glucides, sels minéraux, arômes.

Les produits filés reviennent plus cher que les produits extrudés, mais leur structure est plus proche de celle de la viande, et leur composition peut être parfaitement définie et maîtrisée. Ces produits peuvent être congelés, et leur conservation ne présente pas de problèmes sur le plan microbiologique. Ils peuvent être utilisés tels quels ou en mélange avec d'autres viandes, et en particulier des viandes de qualités inférieures auxquelles ils redonnent la texture qui leur manque.

★ Les productions végétales et animales fournissent actuellement la totalité des protéines consommées dans le monde. Mais une nouvelle source de protéines commence à être exploitée; les *micro-organismes*. Après la culture des végétaux et l'élevage des animaux, la culture des levures, champignons, algues et bactéries pourrait contribuer à apporter une solution au problème des besoins mondiaux en protéines.

Les micro-organismes renferment entre 40 à 70 % de protéines (pourcentages exprimés par rapport à la matière sèche) riches en lysine. Leur croissance est très rapide : les bactéries doublent leur masse toutes les trente secondes, les levures toutes les deux heures et les champignons toutes les cinq à six heures. Lorsque le bœuf produit 1 kg de protéines, dans le même temps le soja en produit 10, les levures $10^5$, et les bactéries $10^{11}$. Ces micro-organismes poussent sur des supports hydrocarbonés très variés : paraffines du pétrole, lactosérum de fromageries, mélasses de sucreries, déchets végétaux, eaux usées et également méthanol et éthanol.

Contrairement à la culture des végétaux et, à un degré moindre, à l'élevage des animaux, les paramètres de la production de micro-organismes peuvent être parfaitement maîtrisés. En particulier, les fantaisies climatiques qui ont une si grande importance en agriculture n'ont aucune influence sur le développement des micro-organismes qui s'effectue dans des conditions parfaitement contrôlées à la manière des productions industrielles. Les rendements sont élevés et parfaitement prévisibles. La place nécessaire est également beaucoup plus réduite que ne l'exigent les productions végétales et animales.

Cette culture est actuellement faite principalement pour obtenir des aliments pour bétail à partir de sous-produits hydrocarbonés de l'industrie alimentaire ou de l'agriculture. Dans ce cas, le développement des micro-organismes est arrêté lorsque la *biomasse* (les micro-organismes eux-mêmes) est telle que l'ensemble support hydrocarboné-micro-organismes représente un aliment équilibré en protéines.

Des travaux de laboratoire entrepris dès 1957 par la Société BP ont permis la production d'environ 20 000 t de levures sur paraffine de pétrole dès 1963. Mais l'augmentation du prix du pétrole a fait brusquement perdre de l'intérêt à ce substrat.

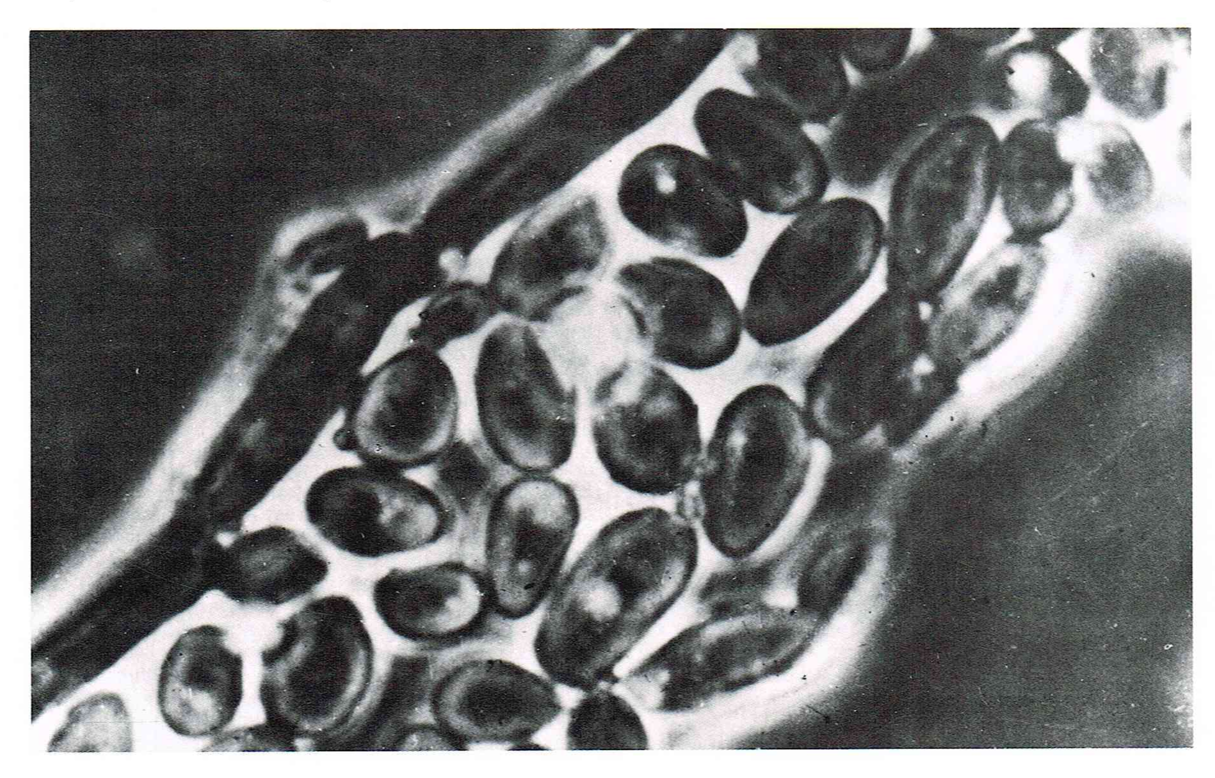
On pourrait utiliser les protéines de micro-organismes, dont l'emploi est actuellement limité à l'alimentation animale, en petites quantités dans l'alimentation humaine, après les avoir débarrassées des acides nucléiques qu'elles contiennent en quantités importantes. En effet, ceux-ci se métabolisent en acide urique, qui peut provoquer de nombreux troubles (lithiases, goutte...). La Société Nestlé, en particulier, s'efforce de mettre au point des protéines de micro-organismes destinées à l'alimentation humaine.

De nombreuses barrières sont à franchir (psychologiques, toxicologiques, réglementaires...) avant que l'utilisation de ces protéines entre dans le domaine des réalités. Les protéines peuvent être texturées, suivant les techniques décrites plus haut, et c'est ainsi que l'on obtient le steak de pétrole, pour lequel les journalistes, en leur temps, ont fait une large publicité.

Certains champignons présentent un avantage particulier sur les levures dans la mesure où ils hydrolysent la cellulose, permettant ainsi d'élargir considérablement les possibilités d'utilisation des supports hydrocarbonés. A ce point de vue, les cultures mixtes sont très intéressantes; les substrats cellulosiques sont, dans un premier temps, transformés par les champignons en glucose qui servira d'aliment aux levures qui pourront se développer dans un deuxième temps.

Les algues mono- ou pluricellulaires ont un rendement photosynthétique élevé. Des usines pilotes ont permis d'obtenir une production en matières sèches de l'ordre de 50 tonnes par an et par hectare.

Il est difficile de prévoir quels développements seront donnés à ces nouvelles productions de protéines. On peut voir là une solution au problème de la faim dans le monde, et plus particulièrement de l'insuffisance qualitative de l'apport protéique.



◀ ***Cultures de levure photographiées au microscope.***

Burlot - Cedus

▲ *Le sucre peut prendre bien des aspects différents (voir page 207).*
▼ *Les pommes de terre contiennent de l'amidon, forme glucidique assimilable la plus importante.*



J.-Loup Martin - Fenouillet - Fotogram

Ces voies nécessitent un niveau technologique élevé, ce qui les limite, paradoxalement, aux pays occidentaux qui les destinent principalement à la valorisation de leurs déchets.

★ Une autre source de protéines de bonne valeur biologique pourrait être développée, c'est la *pisciculture*. Le poisson est intéressant : son squelette est relativement faible ; c'est un animal à sang froid, qui ne fait donc pas de dépense énergétique pour la thermorégulation. Le taux de conversion des protéines alimentaires est élevé (4 fois supérieur à celui du bétail). Enfin, le poisson présente une forte reproduction.

### *Les glucides*

Les glucides sont des molécules de tailles variées dont les maillons sont des polyalcools possédant une fonction aldéhyde ou cétone.

Leurs propriétés sont fonction du nombre de maillons qui les composent. S'ils en possèdent un, deux ou trois, ils sont solubles dans l'eau, cristallisent et présentent une saveur sucrée ; c'est le cas du glucose, du fructose, du galactose (un maillon), du sucre que nous consommons, le saccharose, le lactose (deux maillons). C'est à ces glucides que l'on réserve plus particulièrement le terme de sucres. Les molécules qui possèdent plusieurs maillons peuvent les libérer sous l'influence de certaines enzymes ou sous l'action des acides. Ainsi, le saccharose peut libérer le glucose et le fructose qui le composent et donner ainsi le *sucre inverti*.

Si le nombre de maillons est important, le pouvoir édulcorant disparaît, les molécules deviennent incristallisables et donnent des gels dans l'eau. C'est le cas, par exemple, de l'amidon qui peut renfermer plusieurs centaines de maillons de glucose. L'amidon est très représenté dans le règne végétal (céréales, pommes de terre). C'est la forme glucidique assimilable la plus importante. Par hydrolyse totale, il libère les molécules de glucose qui le composent. Industriellement, il est hydrolysé partiellement de façon à obtenir toute une série (selon le degré d'hydrolyse) de « sirops de glucose » constitués d'un mélange de glucose, de maltose, de maltotriose, de dextrines, dans des proportions variables, c'est-à-dire d'un mélange de glucose et de divers polymères (composés contenant plusieurs maillons de ce sucre simple). Les sirops de glucose sont très largement utilisés en industrie alimentaire : biscuiterie, pâtisseries, boissons, crèmes glacées, confitures, fruits au sirop, sauces. Ils interviennent soit comme anticristallisants, soit pour modifier la HRE (humidité relative d'équilibre), la viscosité, la pression osmotique.

Le pouvoir sucrant de ces sirops de glucose varie avec leur composition, mais il est toujours bien inférieur à celui du sucre. Récemment, il a été augmenté grâce à la transformation d'une partie du glucose en fructose, dont le pouvoir sucrant est élevé. Le nouveau produit obtenu, l' « isomérose » ou HFCS (high fructose corn syrup), pourrait entrer en concurrence avec le sucre, du moins dans une partie des applications de celui-ci. Mais à ce niveau interviennent pour une part prépondérante les problèmes économiques et politiques. Contrairement à ce qu'a écrit Roderik Panter (*Avenir 2000*, n° 40), il ne s'agit pas de « la découverte la plus intéressante dans le domaine des édulcorants, probablement plus prometteuse que la saccharine ou que les cyclamates ». En effet, l'isomérose n'est pas comparable aux édulcorants de synthèse comme la saccharine et les cyclamates dont le but est de donner un goût sucré sans apport de calories. L'apport calorique du HFCS est identique à celui du sucre.

Les sucres simples sont directement assimilables, leur rôle physiologique est principalement énergétique. Ils fournissent à l'organisme une part importante des calories qui lui sont nécessaires ; ils interviennent également dans la constitution des molécules complexes, c'est le cas du ribose qui participe à la constitution des ADN et ARN (acides désoxyribonucléique et ribonucléique).

Les autres glucides comme l'amidon subissent, sous l'action d'enzymes, au cours du tractus digestif, diverses séries d'hydrolyses qui les ramènent à l'état d'oses simples. C'est sous cette forme que les glucides traversent la barrière intestinale. Des glucides comme la cellulose qui ne peuvent pas être hydrolysés au cours de la digestion sont « évacués » sans aucune modification.

Un groupe de glucides très important en technologie alimentaire est constitué par les épaississants-gélifiants comme la pectine des fruits, les gommes et les alginates qui sont tous de grosses molécules capables de donner des gels.

Les besoins en glucides de l'organisme sont essentiellement quantitatifs ; il n'y a pas de glucides essentiels. Les calories apportées par les glucides doivent représenter environ 50 % des calories totales. Les besoins en glucides sont la plupart du temps totalement couverts, ce qui fait que ce groupe de nutriments ne pose pas de problèmes nutritionnels.

### *Les lipides*

Les lipides sont constitués pour leur majeure partie de triglycérides qui sont des esters de glycérol (ou glycérine qui est un trialcool) avec les acides gras. Les triglycérides se différencient les uns des autres essentiellement par la nature des acides gras (longueur de la chaîne hydrocarbonée, insaturation) et la position de ceux-ci dans la molécule de glycéride.

Les corps gras naturels contiennent également en petite quantité des phospholipides comme les lécithines et diverses substances liposolubles en petite quantité : vitamines, stérols, terpènes, hydrocarbures.

Les triglycérides, sous l'influence d'enzymes (lipases), peuvent être hydrolysés partiellement ou totalement. On peut obtenir ainsi les acides gras libres, les mono- et les diglycérides. Les transformations sont effectuées au cours du tractus digestif, les matières traversant la barrière intestinale sous forme d'acides gras et de monoglycérides.

#### Besoins en lipides

Les graisses doivent fournir au maximum le tiers des calories de la ration alimentaire. La proportion de matières grasses dans cette ration est en relation directe avec le niveau de vie des individus. Si la consommation anormalement élevée de matières grasses observée dans nos sociétés pléthoriques (plus de 40 % des calories de la ration sont apportés par les matières grasses dans la ration des Américains) présente des inconvénients pour la santé, il en est de même pour les régimes carencés en graisses. En dehors de leur rôle dans la saveur des aliments et de l'effet de satiété qu'elles procurent, du fait qu'elles séjournent dans l'estomac plus longuement que les autres nutriments, les matières grasses apportent de l'énergie sous forme concentrée (1 g de graisse fournit 9 calories, alors que les glucides et les protides n'en fournissent que 4) et surtout donnent à l'organisme l'acide gras qu'il ne peut synthétiser, c'est-à-dire l'acide linoléique. 2 % des calories totales de la diète de l'homme adulte doivent provenir de cet acide gras essentiel, soit 6 g pour un régime de 2 700 calories.

Les lipides jouent un rôle très important dans l'élaboration du cerveau et du système nerveux central. Ils ont une action biologique indirecte par l'intermédiaire des vitamines liposolubles qu'ils véhiculent (A, D, E, K).

### *Vitamines et sels minéraux*

● Les **vitamines** sont des nutriments indispensables qui se trouvent dans les aliments en petite quantité. Elles jouent le rôle de biocatalyseurs.

On distingue le groupe des vitamines liposolubles (A, D) apportées par les graisses, et les vitamines hydrosolubles comme la vitamine C qui se trouve plus particulièrement dans les fruits et légumes.

● Les **minéraux** peuvent intervenir en quantité importante, comme le calcium pour la constitution du squelette, ou à très faible dose (oligo-éléments).

### *Autres composés*

● L'**eau** joue un rôle important en biologie. Quelques propriétés particulières de l'eau seront développées dans le chapitre *Conservation des aliments*.

● Les **composés non assimilables** peuvent être apparemment sans intérêt biologique, telle la cellulose pour l'homme. Cette notion est relative : la cellulose est source de nutriment pour les ruminants. Chez l'homme, les fibres cellulosiques jouent un rôle important dans le transit intestinal. Actuellement, les nutritionnistes attirent l'attention sur tous les inconvénients que présente pour la santé une alimentation contenant très peu de fibres cellulosiques, comme notre alimentation moderne.

Des régimes diététiques enrichis en cellulose, allant du pain complet au son de blé à mélanger avec la confiture ou le yaourt, sont proposés aux consommateurs.

● Les **composés à finalité organoleptique.** Cet important groupe de substances fait l'objet d'un chapitre spécial *(Les additifs organoleptiques)*.

● Les **composés à action physiologique.** Ils sont représentés par différents groupes de corps qui agissent sur certaines fonctions physiologiques : les alcaloïdes comme la caféine, que l'on trouve dans le café et le thé, la théobromine, que l'on trouve dans le cacao, en fournissent de bons exemples.

● Les **enzymes.** Ce sont des catalyseurs biochimiques qui permettent le déroulement de nombreuses réactions, souhaitées ou non (voir chapitre *Enzymes immobilisées*).

● Les **substances antinutritives** et les **substances toxiques.** Elles sont responsables des *nuisances alimentaires naturelles,* qui peuvent être d'origine endogène ou exogène. Les premières sont dues à la présence de substances toxiques ou simplement antinutritives se trouvant naturellement dans l'aliment. Les composés toxiques, comme ceux contenus dans les champignons vénéneux ou les amandes amères (acide cyanhydrique), sont bien connus.

En revanche, l'existence de substances antinutritives est souvent ignorée. Ce sont des composés aux natures chimiques et aux mécanismes d'action fort différents. En fait, leur seul point commun est l'effet négatif qu'elles exercent sur l'état de nutrition. On distingue :

— les *substances anti-protéino-génétiques* qui dépriment l'utilisation, la digestion ou le métabolisme des protéines ; c'est le cas notamment de l'antitryptase du blanc d'œuf ; gober un œuf est donc une mauvaise pratique sur le plan nutritionnel ; cette antitryptase est détruite à la chaleur ;

— les *substances antiminéralisantes* comme l'acide phytique ou l'acide oxalique qui insolubilisent le calcium (substances anticalcifiantes) ;

— enfin les *substances qui inactivent les vitamines* comme l'ascorbase du chou qui provoque l'oxydation de l'acide ascorbique ou vitamine C.

Il est évident que la présence de substances antinutritives, et plus encore de substances toxiques, fait perdre à l'aliment sa finalité, qui est de maintenir la vie de l'organisme. Mais il est important de considérer que l'aliment peut être une source potentielle de nutriments. A la limite, on peut en effet imaginer qu'un produit

***◄ Page ci-contre, en haut, 1, pain de sucre ; 2, fondant ; 3, sucre candi brun et blanc ; 4, sucre en grains ; 5, cassonade ; 6, sucre liquide ; 7, sucre Adant (sucre de luxe) ; 8, sucre glace ; 9 et 10, vergeoise brune et blonde ; 11, sucre semoule ou sucre en poudre ; 12, sucre cristallisé blanc ; 13, sucre en morceaux.***



***▼ Les vitamines sont des nutriments indispensables. La vitamine C se trouve plus particulièrement dans les fruits.***

Top

▶ *Pulvérisation de produits désherbants avant l'apparition du produit cultivé. Leur présence dans les aliments sera considérée comme nuisible.*



M. Pedone

naturel qui entraîne la mort lorsqu'on le consomme puisse devenir une excellente source de nutriments, une fois débarrassé des substances toxiques qu'il contient. Il y a de nombreux exemples de produits valorisés sur le plan biologique par les traitements technologiques qui détruisent les substances toxiques ou antinutritives.

Les nuisances naturelles d'origine exogène sont dues à des substances toxiques provenant de l'activité biologique de certains micro-organismes se développant sur les matières premières alimentaires; dans ce groupe, il faut noter l'importance prise, ces dernières décennies, par les mycotoxines, et plus particulièrement les aflatoxines sécrétées par une moisissure, l'*Aspergillus flavus*, qui se développe sur les matières premières humides.

### Classification des aliments

Plusieurs systèmes ont été proposés en fonction :

— de l'origine (aliments d'origine minérale, végétale ou animale) ;

— de la composition en nutriments, aliments lipidiques (beurre), protéiques (viande), glucidiques (pomme de terre) ;

— de la finalité biologique (aliments énergétiques, plastiques, catalytiques) ;

— de critères diététiques (groupes d'aliments). Ce sont les groupes I : viandes, poissons ; II : lait, fromages ; III : corps gras ; IV : pain, céréales ; V et VI : légumes et fruits crus et cuits ;

— des traitements appliqués : « aliments naturels » ou « aliments industriels ».

Les traitements technologiques valorisent les aliments naturels tant sur le plan économique que sur le plan biologique en éliminant les déchets, les substances toxiques ou antinutritives. Ces traitements augmentent l'attrait, la valeur biologique et la conservation des aliments, mais introduisent des substances chimiques étrangères aux aliments, dont certaines ne sont pas sans risques pour la santé et sont de ce fait à l'origine des nuisances alimentaires dites chimiques.

Le consommateur moyen retient surtout ce type de nuisance en oubliant trop vite que la nature n'est pas toujours animée des meilleures intentions envers lui. Les sources naturelles de nutriment peuvent présenter de réels dangers pour l'homme. Les substances étrangères aux aliments que l'on trouve dans ceux-ci sont toutes, par définition, d'origine exogène et artificielle. Elles sont généralement présentes dans l'aliment en très faible quantité, le plus souvent à l'état de traces.

Elles se répartissent en plusieurs groupes :

— Les substances utilisées au cours du développement, des traitements, du stockage et de la conservation des produits végétaux et animaux destinés à être consommés directement ou après transformation. Certaines de ces substances comme les pesticides, les antibiotiques, les hormones peuvent se retrouver dans les produits alimentaires destinés à la consommation.

— Les substances ajoutées au cours de la fabrication des aliments. Ce sont les additifs proprement dits : tensio-actifs, colorants, arômes, etc. Ces composés permettent de faciliter la fabrication et d'améliorer la conservation des aliments. Ils peuvent préserver la valeur nutritive de ceux-ci et en augmenter l'attrait. Mais leur action sur la santé est discutable. Le nombre des substances utilisées comme additifs augmente chaque année, et leur connaissance approfondie dans le contexte technologique et toxicologique devient de plus en plus nécessaire.

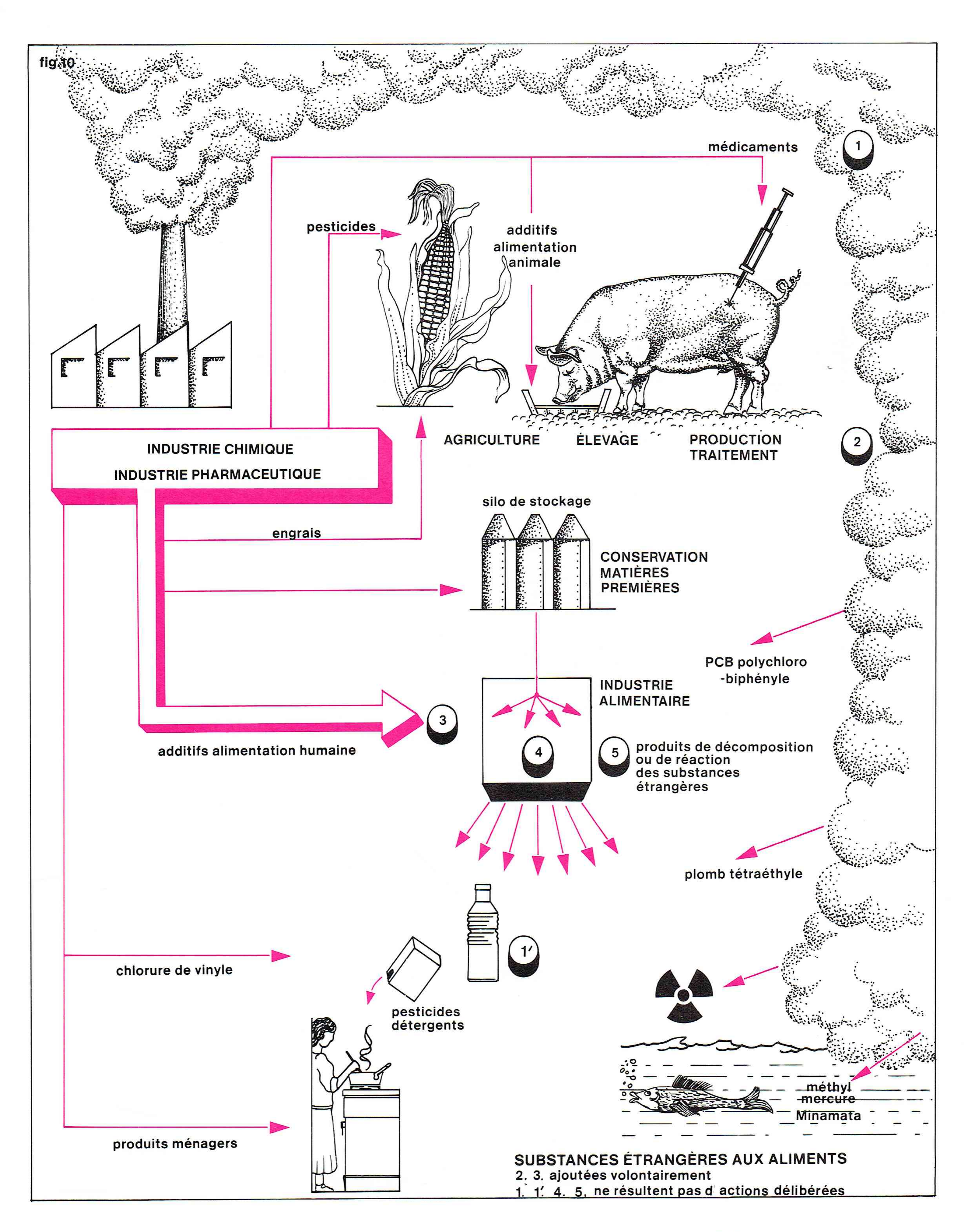
— Les substances qui se forment pendant les processus des technologies alimentaires et la conservation des matières premières et des produits finis : produits de pyrolyse, produits d'oxydation, etc. Dans cette catégorie, on rencontre des substances dont l'effet néfaste sur la santé est reconnu depuis longtemps. Certaines d'entre elles sont cancérigènes.

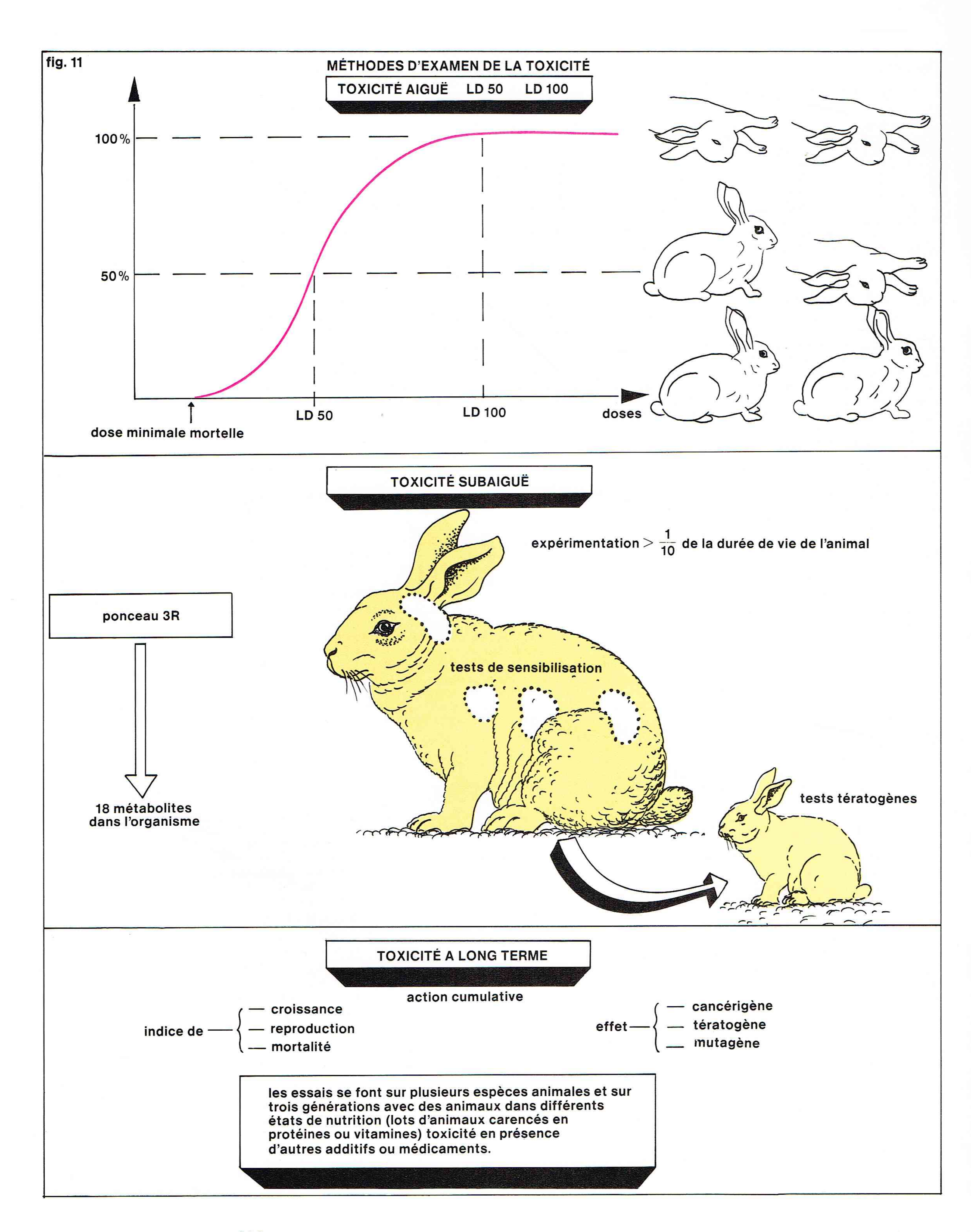
— Les substances provenant de l'environnement immédiat de l'aliment. Elles peuvent avoir pour origine la pollution générale de l'atmosphère et de l'eau. C'est le cas du méthylmercure contaminant les poissons à Minamata au Japon, du plomb tétraéthyle dans l'atmosphère, dû à la combustion des carburants, du PCB (polychlorobiphényl), et même des éléments radioactifs. Elles peuvent également provenir des matériaux de l'emballage qui constituent l'environnement le plus immédiat de l'aliment. Des monomères des emballages en plastique, en particulier le chlorure de vinyle, peuvent diffuser dans l'aliment et le contaminer.

— Enfin, les produits de réaction des substances étrangères aux aliments entre elles ou avec les constituants de ceux-ci : formation d'épichlorhydrine par réaction de l'oxyde d'éthylène utilisé comme fumigant sur les chlorures contenus dans les produits traités.

Cela fait un nombre considérable de composés qui peuvent être divisés en deux grandes catégories : les substances ajoutées volontairement et les substances

▶ *Page ci-contre, figure 10.*


fig.10
médicaments
1
pesticides
additifs
alimentation
animale
INDUSTRIE CHIMIQUE
INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE
AGRICULTURE
ÉLEVAGE
PRODUCTION
TRAITEMENT
2
silo de stockage
engrais
CONSERVATION
MATIÈRES
PREMIÈRES
PCB polychloro
-biphényle
INDUSTRIE
ALIMENTAIRE
3
additifs alimentation humaine
4
5
produits de décomposition
ou de réaction
des substances
étrangères
plomb tétraéthyle
1′
chlorure de vinyle
pesticides
détergents
produits ménagers
méthyl
mercure
Minamata
SUBSTANCES ÉTRANGÈRES AUX ALIMENTS
2. 3. ajoutées volontairement
1. 1′. 4. 5. ne résultent pas d' actions délibérées


fig. 11
MÉTHODES D'EXAMEN DE LA TOXICITÉ
TOXICITÉ AIGUË LD 50 LD 100
100 %
50 %
LD 50
LD 100
doses
dose minimale mortelle
TOXICITÉ SUBAIGUË
expérimentation > 1/10 de la durée de vie de l'animal
ponceau 3R
18 métabolites
dans l'organisme
tests de sensibilisation
tests tératogènes
TOXICITÉ A LONG TERME
action cumulative
indice de — croissance
— reproduction
— mortalité
effet — cancérigène
— tératogène
— mutagène
les essais se font sur plusieurs espèces animales et sur
trois générations avec des animaux dans différents
états de nutrition (lots d'animaux carencés en
protéines ou vitamines) toxicité en présence
d'autres additifs ou médicaments.

dont la présence dans les aliments ne résulte pas d'une action délibérée.

### *Substances ajoutées volontairement*

Cette première catégorie est la mieux définie et la mieux réglementée. Elle est représentée d'une part par les pesticides utilisés en agriculture et les additifs employés en alimentation animale, et d'autre part par les additifs intervenant dans la fabrication des aliments destinés à l'homme. Ces deux types de substances se distinguent l'un de l'autre par différentes caractéristiques; l'une d'elles est la chronologie de leur apparition dans l'histoire de l'aliment (les pesticides étant utilisés en amont). De plus, les substances du premier groupe, en particulier les pesticides, sont considérées comme indésirables dans les aliments, alors que la plupart de celles du second groupe peuvent s'y retrouver légalement.

### *Substances étrangères aux aliments*

La deuxième grande catégorie de substances étrangères comprend celles qui contaminent les aliments ou qui se forment en leur sein au cours des opérations de fabrication, de conditionnement, de transport ou de conservation.

Ces substances étrangères aux aliments posent une série de problèmes très complexes, de nature : toxicologique, juridique, psychophysiologique, analytique, économique et technologique. Ces problèmes ont pris une grande importance à la suite de la rencontre de deux courants opposés : d'une part celui des agriculteurs et des industriels qui estiment nécessaire pour leur production et leur fabrication d'utiliser un nombre de plus en plus important de produits chimiques, et d'autre part celui des consommateurs qui considèrent que ces produits chimiques mettent leur santé en danger.

#### Problèmes toxicologiques

Les substances toxiques agissent :

— soit en modifiant l'utilisation digestive des aliments : par irritation du tube digestif, ce qui entraîne un effet purgatif; par inhibition des enzymes digestives; par action sur la flore intestinale (antiseptique, antibiotique); en la diminuant, on risque de réduire les synthèses des vitamines des groupes B et K qu'elle effectue;

— soit par action toxique proprement dite, qui peut être directe sur un organe (foie), une fonction (fonction rénale, spermatogenèse), un système enzymatique (blocage des sites SH des protéines enzymatiques); ou indirecte après réaction des substances toxiques sur les aliments, les médicaments ou entre elles. L'acide nitreux provenant des nitrites utilisés en charcuterie pour conserver la couleur rouge des viandes peut réagir avec des amines secondaires des aliments pour donner naissance à des nitrosamines cancérigènes.

La toxicité des substances est évaluée à partir des essais effectués sur la toxicité aiguë, subaiguë et à long terme.

La *toxicité aiguë* détermine la dose minimale mortelle. Pour les substances étrangères aux aliments, et en particulier dans le cas des additifs alimentaires, la toxicité aiguë n'a guère de signification, elle est toujours beaucoup plus élevée que les doses d'utilisation. Les substances dont l'emploi est autorisé en alimentation ne peuvent présenter, bien entendu, au maximum qu'une très faible toxicité, absolument indécelable lors des essais de toxicité aiguë. Pour ces substances, ce sont les essais de toxicité à long terme qui sont les plus riches d'enseignements.

Le problème qui se pose est celui de l'ingestion de faibles doses répétées. Si les substances sont éliminées au cours du métabolisme, il y a peu de risques. Au contraire, si elles s'accumulent régulièrement, la quantité présente dans l'organisme peut être importante au bout d'un temps suffisamment long et poser des problèmes de toxicité. Ces rétentions de substances par l'organisme peuvent être conditionnées par des facteurs d'ordre physique : c'est le cas de composés solubles dans les graisses qui s'accumulent dans certains tissus (hépatique, nerveux, adipeux). Les facteurs d'ordre chimique jouent un rôle également important dans les phénomènes de rétention. Certains composés peuvent se lier aux protéines du foie jusqu'à saturation.

La détermination de la *toxicité subaiguë* et *à long terme* nécessite toute une série d'essais relatifs à l'examen des tissus, à la localisation et à la répartition de la substance à examiner ainsi que de ses métabolites, à la sensibilisation et à l'accoutumance, aux effets tératogènes, à la fertilité. Ces essais doivent être faits sur différents types d'animaux et doivent tenir compte des divers états de nutrition (animaux carencés en protéines, en vitamines). Ils sont longs et très coûteux. Même quand ils peuvent être effectués d'une façon complète, il est toujours difficile de conclure à l'innocuité d'une substance avec une probabilité suffisamment sécurisante.

#### Problèmes posés par le comportement alimentaire de l'homme

L'acte alimentaire est sous la dépendance de deux groupes de facteurs : les facteurs internes, qui comprennent des motivations physiologiques (le point de départ de l'acte alimentaire est la nutrition cellulaire), des motivations psycho-sensorielles, qui concernent les sensations organoleptiques (ouïe, odorat, goût); elles permettent l'identification des aliments et la recherche du plaisir, motivations essentiellement humaines; elles tiennent principalement dans le symbolisme des aliments. « L'homme consomme autant de symboles que de nutriments » : l'aliment qui donne de la force, qui fait grandir, qui valorise.

Les facteurs externes concernent le comportement individuel, les habitudes, les mœurs et coutumes.

Il existe entre les deux groupes de facteurs un système d'ajustement qui établit une correspondance plus ou moins précise entre les besoins cellulaires et les objets alimentaires convoités. Le conditionnement joue un rôle important dans le domaine alimentaire. L'exemple des colorants est intéressant à ce sujet : le consommateur choisit spontanément un aliment agréablement coloré plutôt qu'un autre aux teintes déplaisantes. La campagne contre les colorants a inversé ce comportement; l'aliment sans couleurs ou à la limite aux couleurs désagréables est considérablement valorisé aux yeux du consommateur par rapport aux autres.

#### Problèmes technico-économiques

Deux grandes questions auxquelles il n'est pas facile d'apporter de réponses rationnelles restent posées. Elles concernent d'une part l'intérêt réel des divers traitements chimiques au niveau des productions animales et végétales, et d'autre part la nécessité technologique des additifs dans l'industrie alimentaire. La deuxième question constitue la pierre d'achoppement du mécanisme de demande d'autorisation d'emploi de nouvelles substances chimiques en alimentation. C'est donc à ce niveau qu'une attention particulière doit être apportée.

#### Problèmes de réglementation

Il existe un droit dit alimentaire inspiré par des considérations scientifiques, technologiques et d'hygiène, et dont l'objectif est la défense du consommateur, en particulier la protection de sa santé. Le champ d'applications de cette branche du droit couvre les domaines de l'agriculture et des industries agricoles et alimentaires en considérant toutes les opérations de la production à la consommation. La réglementation est fondée sur le principe de l'interdiction (tout ce qui n'est pas autorisé est interdit), ce qui entraîne l'établissement des listes positives d'additifs. (A opposer au principe de l'abus.)

Devant l'affirmation d'impératifs technico-économiques et l'incertitude des toxicologues, il est souvent très difficile de prendre des décisions au sujet de l'inscription d'une substance nouvelle sur les listes positives.

#### Problèmes analytiques

L'importance des problèmes analytiques apparaît :

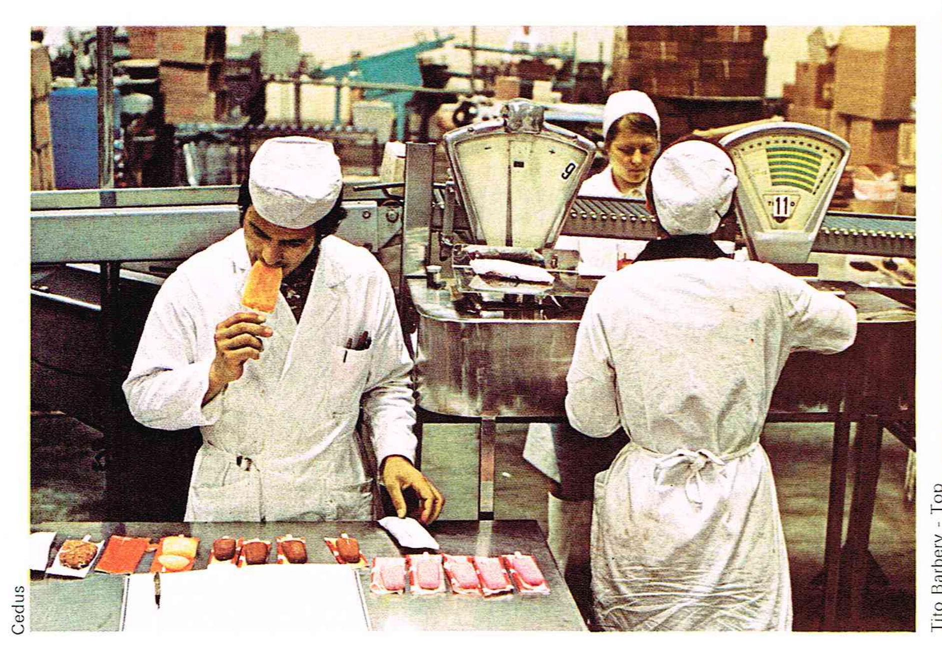
— sur le plan toxicologique (études des métabolites);

— sur le plan de la réglementation (pureté des additifs, contrôle des teneurs dans les produits finis, détermination de la DJA [dose journalière admissible]);

— sur le plan technologique (détermination du rôle des additifs).

La détermination de quantités très faibles de substances dans des milieux complexes nécessite l'utilisation de méthodes très élaborées.

◀ ***Page ci-contre, figure 11.***


Cedus



Tito Barbery - Top

▲ *A gauche : un laboratoire de « goûteurs »; à droite : enfants mangeant des sorbets. Les propriétés psychosensorielles de l'aliment déterminent son choix et sont l'origine du plaisir éprouvé.*

## LES ADDITIFS ORGANOLEPTIQUES

Les propriétés organoleptiques des aliments, c'est-à-dire celles qui impressionnent les sens, jouent un rôle fondamental dans l'appétence, qui est, sur un plan général, le désir instinctuel qui porte vers tout objet propre à satisfaire un penchant naturel. Les propriétés résultant du contenu psychosensoriel de l'aliment déterminent son choix et sont à l'origine du plaisir éprouvé en le mangeant. Pratiquement, les propriétés organoleptiques concernent tous les sens.

La vue est un des premiers sens intéressés : l'apparence, la couleur, la forme sont intégrés avant la préhension de l'aliment.

L'odorat joue un rôle prépondérant, non seulement dans le choix des aliments, mais également dans le plaisir ou le déplaisir qu'ils procurent. L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations résultant de l'excitation de l'organe olfactif par les molécules odorantes.

Le goût permet de percevoir les quatre saveurs fondamentales (acide, salée, amère et sucrée), grâce aux récepteurs gustatifs qui se trouvent dans la bouche, et plus précisément sur la langue. Dans le langage courant, le domaine du goût est plus vaste et englobe les odeurs. En réalité, en mangeant un aliment, les sensations olfactives et gustatives sont simultanément intégrées. Pour rendre compte de cette impression globale des deux sens, on a proposé le mot flaveur, de l'anglais *flavour,* qui couvre l'ensemble complexe des sensations olfactives et gustatives perçues pendant la consommation d'un produit alimentaire.

Il est intéressant de noter que, si les sens de l'olfaction et de la gustation interviennent quasi simultanément dans le plaisir ou le déplaisir éprouvé lorsque l'aliment se trouve dans la bouche, seule l'olfaction est impliquée dans le choix de l'aliment. Cette propriété est relativement limitée, en particulier chez l'homme, mais peut prendre chez certains animaux une importance très grande. Notamment, chez les insectes, où l'on observe différents chimiotropismes qui peuvent s'exercer sur une grande distance et avoir pour finalité l'exercice de la fonction de nutrition... mais également celle de reproduction.

La texture pour les aliments solides ou la rhéologie pour les aliments liquides ou pâteux sont évaluées grâce aux mécanorécepteurs d'organes tactiles de la région buccale.

Enfin l'ouïe intervient également dans l'ensemble des sensations ressenties en mangeant un aliment. Ceci a d'ailleurs été exploité sur le plan publicitaire (chocolat Crunch, par exemple).

A la limite, tout additif créant, améliorant ou stabilisant le contenu psychosensoriel d'un aliment peut être considéré comme un additif à finalité organoleptique. Dans la pratique, cette appellation est réservée aux colorants et aux arômes dont l'utilisation quelque peu abusive dans les aliments industriels a fait l'objet, en particulier pour les colorants, de très vives critiques de la part des associations de consommateurs. Les Américains utilisent pour désigner ce groupe d'additifs l'expression *food-appeal*, par analogie avec *sex-appeal.* Ces *food-appeals* sont en fait toutes les substances qui, ajoutées à un aliment, augmentent son attrait, le rendent plus désirable.

### La couleur des aliments

L'importance des couleurs dans l'environnement social de l'homme est très grande. Chaque individu éprouve leurs effets psychophysiologiques; un milieu bleu est sédatif, alors qu'un rouge est stimulant. Les couleurs peuvent être inhibitrices ou dynamogéniques; elles peuvent éveiller le sentiment du plaisir ou de l'empêchement.

Dans la corrélation très précise qui est établie d'instinct par l'animal entre la qualité nutritionnelle des aliments et leur apparence, la couleur intervient pour une large part. Par exemple, la couleur d'un fruit renseigne sur son état de maturité et permet ainsi à l'animal de le consommer au moment précis où il atteindra sa plus grande valeur nutritionnelle et où il lui procurera le plaisir maximal. Mais cette relation subtile entre aspect et contenu, rarement trompeuse dans les produits naturels, n'existe plus dans les produits alimentaires industriels où la coloration est généralement exogène.

Les colorants sont utilisés dans différents desseins et tout d'abord pour redonner aux aliments leur couleur d'origine perdue au cours des traitements technologiques. Le reverdissage des légumes verts, petits pois, haricots verts en conserve, par le sulfate de cuivre est une pratique courante encore dans certains pays. Elle n'est plus autorisée en France. Dans la coloration des fruits confits par des colorants synthétiques, il s'agit de redonner aux fruits, qui l'ont perdue pratiquement en totalité au cours des divers traitements subis, une coloration qui rappelle celle d'origine.

Les colorants sont également utilisés pour obtenir une coloration constante pour certains produits agricoles sujets à des variations saisonnières, comme le beurre, dont la coloration est en relation avec l'alimentation des vaches, elle-même fonction de l'époque de l'année. Les beurres d'hiver sont plus clairs que les beurres d'été, les vaches consommant en cette saison des aliments riches en carotène qui donne au beurre sa couleur jaune. Le consommateur accepte difficilement les variations qualitatives des aliments, et l'industrie s'efforce de lui présenter des aliments constants, ce qui l'oblige, compte tenu de la variabilité des matières premières, à des ajustements plus ou moins importants.

La coloration peut être faite dans un souci d'analogie ou d'évocation. Par exemple, dans le cas des sirops ou

des confiseries, le colorant a pour but de les rendre attrayants en rappelant le végétal en rapport avec l'aromatisation utilisée. Les sirops de menthe et de citron, normalement incolores, sont artificiellement colorés respectivement en vert et en jaune.

La coloration peut aller dans le sens de certaines habitudes alimentaires. Les poulets à chair blanche sont difficilement acceptés dans le sud de la France où l'on préfère la chair colorée. Les aliments composés, insuffisamment riches en caroténoïdes, destinés aux élevages du Midi sont additionnés de colorants qui permettent d'obtenir la chair jaune appréciée.

Enfin, les colorants peuvent être employés avec des intentions frauduleuses pour tromper le consommateur sur les qualités substantielles de l'aliment. Par exemple, les pâtes alimentaires peuvent être colorées en jaune pour donner l'impression qu'elles sont aux œufs ou qu'elles contiennent plus d'œufs qu'en réalité.

Différents colorants sont utilisés dans l'industrie alimentaire. Tout d'abord les **colorants naturels,** d'origine minérale comme l'oxyde de fer de teinte ocre ou le bioxyde de titane blanc, d'origine animale comme le carmin de cochenille extrait de la femelle de *Coccus cacti,* insecte élevé au Mexique, enfin d'origine végétale comme les chlorophylles, les caroténoïdes, les anthocyanes, etc., c'est-à-dire toutes les substances qui colorent naturellement les végétaux.

Avant la campagne faite contre les colorants, les colorants naturels avaient des applications relativement réduites en alimentation où les colorants synthétiques dominaient largement. Depuis cette campagne, la tendance s'inverse, et les colorants naturels bénéficient d'un regain d'intérêt.

La plupart des **colorants synthétiques** se rattachent à deux grandes familles chimiques, les dérivés azoïques, qui comprennent les deux tiers des colorants synthétiques autorisés, et les dérivés du triphényl méthane. Ce sont tous des colorants acides solubles dans l'eau.

Les colorants synthétiques présentent des avantages non négligeables sur les colorants naturels : ils sont moins chers, ils ont un pouvoir colorant plus élevé ; il est aisé de réaliser des teintes et des nuances subtiles grâce à de judicieux mélanges de colorants de base. Enfin, les colorants synthétiques supportent beaucoup mieux que les colorants naturels les divers traitements technologiques de l'industrie alimentaire, ce qui explique l'importance qu'ils ont prise au cours des dernières décennies.

Du fait de leur utilisation trop systématique et quelquefois abusive, ils ont dans un premier temps été le point de mire des associations de consommateurs luttant contre l'utilisation des additifs. Pour beaucoup de personnes, les colorants restent les additifs par excellence, alors qu'en fait, ils n'en représentent qu'une faible fraction, certes la plus voyante.

Ce « privilège » se retrouve sur les plans toxicologique et réglementaire. Les colorants sont de loin ceux des additifs qui ont fait l'objet du plus grand nombre d'études toxicologiques. Toutes les informations disponibles sur eux ont permis d'établir très rapidement une liste positive au niveau de la CEE.

Les colorants liposolubles présentent quelquefois une toxicité marquée et sont en règle générale considérés comme suspects. Les colorants hydrosolubles ne sont pas, à l'opposé, systématiquement dépourvus de toxicité, mais ils suivent un cheminement de détoxication qui aboutit assez rapidement à leur élimination et ne présentent que peu ou pas, contrairement aux colorants liposolubles, d'effets de sommation ou cumulatifs. Ils n'en sont pas pour autant à l'abri de toute critique. A la suite de divers travaux de recherche entrepris sur eux par des laboratoires de toxicologie, nous assistons à des retraits successifs de colorants des listes officielles, à tel point que celles-ci se réduisent progressivement comme peaux de chagrin. Il est certain que ces retraits, qui s'effectuent dans l'atmosphère passionnée créée par les associations de consommateurs, ne sont à la limite pas plus justifiés scientifiquement que les inscriptions sur les listes positives.

Le cas de l'amarante, colorant synthétique rouge, est très significatif. A la suite de résultats récents obtenus par des laboratoires russes et américains concluant à une certaine toxicité de ce colorant, le processus administratif de retrait de l'amarante s'est déclenché. Au niveau de la CEE, les experts ont considéré que l'expérimentation n'était ni suffisante ni suffisamment bien menée pour remettre en question l'autorisation d'utilisation de ce colorant. Par contre, l'administration française, qui reste souveraine en l'occurrence sur le plan national, a décidé son retrait. C'est possible dans le cadre des accords au sein de la Communauté à condition qu'au moins un produit alimentaire continue à être coloré avec l'amarante. Le produit, choisi compte tenu de sa faible diffusion, est le caviar. Ainsi donc, l'amarante est actuellement interdite en France pour la coloration de tous aliments, sauf le caviar.

De nombreuses critiques ont été faites aux expérimentations russes. Il semblerait que les toxicologues n'aient pas disposé d'un colorant pur. Les conclusions portées par eux sur la toxicité du colorant seraient en fait à attribuer aux substances annexes.

En réalité, la molécule d'un colorant n'est jamais obtenue pure par synthèse. Différentes impuretés l'accompagnent, ainsi que des isomères du colorant. Suivant le degré de purification et le type de synthèse, on trouve des substances annexes qualitativement et quantitativement très variables. De plus, la molécule active avec ses satellites n'est jamais utilisée pure mais additionnée de charges minérales, généralement de sulfate de sodium en quantités importantes, de l'ordre de 60 % du colorant alimentaire. Si la toxicité du sulfate de sodium ne pose pas de problèmes, il peut être accompagné lui-même d'impuretés minérales toxiques...

C'est, bien entendu, la toxicité de l'ensemble du colorant alimentaire qui doit être finalement évaluée, puisque c'est lui qui est utilisé dans la coloration des aliments. Mais il est extrêmement important de déterminer l'origine d'une toxicité lorsqu'elle existe. Si l'on sait par exemple que la toxicité d'un colorant alimentaire est en fait due à un isomère de la molécule principale colorante, on agira au niveau de la synthèse de façon à éviter la formation de cet isomère. Si cela est impossible, on tentera de l'éliminer au cours des phases de purification.

Quant aux colorants naturels, contrairement à une idée trop généralement répandue, ils ne sont pas *a priori* à l'abri de critiques sur le plan toxicologique. Certes, ils ont pour eux, sur ce plan, l'avantage de se trouver dans les fruits et légumes que nous consommons régulièrement. Il est difficile de ce fait de concevoir qu'ils puissent présenter une quelconque toxicité. Pourtant, les toxicologues ne sont pas en mesure de démontrer leur parfaite innocuité, dépourvus d'information qu'ils sont à leur sujet.

De plus, le problème est tout à fait différent suivant que l'on considère le colorant dans son contexte naturel, c'est-à-dire dans le fruit ou légume qu'il colore, ou après séparation de ce contexte naturel. Dans ce dernier cas, les procédés d'extraction utilisés apportent des modifications plus ou moins profondes. Le colorant de base est généralement accompagné dans les extraits commerciaux de très nombreuses substances aux effets biologiques mal connus ou inconnus. L'expérimentation toxicologique, qui n'est pas dépourvue de difficultés avec les colorants synthétiques, devient dans le cas des colorants naturels plus complexe encore.

### Les arômes alimentaires

Ils constituent, avec les colorants, le groupe important des additifs organoleptiques ou *food-appeal.*

Les arômes, contrairement aux colorants, ne correspondent pas à des composés définis sur le plan chimique. Ce sont des mélanges très complexes de molécules organiques aux fonctions variées : acides, cétones, aldéhydes, esters, etc. L'arôme du café par exemple renferme plusieurs centaines de composés chimiques différents. Ceux-ci varient à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif en fonction de différents facteurs comme la variété, l'origine géographique.

L'aromatisation des aliments, facteur essentiel de la qualité organoleptique, peut être obtenue et maintenue de différentes façons.

Dans le cas de l'**aromatisation endogène,** l'arôme fait partie intégrante de l'aliment, soit qu'il préexiste dans les matières premières, étant de ce fait antérieur au processus technologique d'obtention de l'aliment, soit qu'il se forme au cours de la fabrication.

Le premier cas est illustré par les jus de fruits ou les



Cedus

▲ *Les confitures ne se font plus que rarement à la maison, mais elles sont toujours aussi attrayantes.*

confitures, produits alimentaires dans lesquels l'arôme est apporté par les fruits. Les processus technologiques d'obtention des jus de fruits ou des confitures devront être effectués de telle façon que les pertes ou les transformations d'arômes soient réduites au minimum. Dans le second cas, on peut citer le chocolat ou le pain dont les arômes respectifs se forment au cours du processus de fabrication. Celui-ci devra donc être mené de façon que l'arôme optimal se forme.

Le deuxième grand groupe d'aromatisation des produits alimentaires est l'**aromatisation exogène,** dans laquelle l'arôme, sous les différentes formes proposées par les fabricants de produits aromatiques, est ajouté à l'aliment. C'est uniquement dans ce cas que l'on peut parler d'arôme en tant qu'additif.

L'additif arôme peut être ajouté :

— soit pour aromatiser totalement un produit ; c'est le cas de certains articles de confiserie, en particulier les sucres cuits dont l'essentiel sur le plan quantitatif est un mélange de sucre et de sirop de glucose qui n'a pas d'arôme propre ;

— soit pour compléter ou renforcer une aromatisation endogène affaiblie par les traitements technologiques ou tout simplement insuffisante au départ ; un produit aromatisé aux fruits aura besoin d'être renforcé par un arôme additif si les fruits ont perdu tout ou partie de leur propre arôme ou si la quantité de ceux-ci incorporée au produit est insuffisante pour lui communiquer une aromatisation satisfaisante ;

— soit pour apporter une note complémentaire à un produit déjà aromatisé ; les exemples sont très nombreux d'associations d'arômes dont les effets organoleptiques sont des plus appréciés. Nous entrons ici dans le domaine de l'art culinaire où les arômes sont l'objet de subtiles combinaisons dont la finalité est, comme pour la musique avec les notes et la peinture avec les couleurs, le plaisir maximal des sens.

A côté de ces symphonies aromatiques malheureusement exceptionnelles, on peut trouver, parmi les produits alimentaires industriels, des exemples intéressants d'associations d'arômes. On a depuis longtemps ajouté au chocolat, au cours de sa fabrication, de la vanilline ou de l'éthyl vanilline, arômes synthétiques de vanille, ou même de la vanille naturelle. Ces additifs aromatiques se marient parfaitement avec l'arôme cacao endogène.

Les fabricants d'arômes proposent aux utilisateurs une très grande variété de produits qui se présentent sous formes liquide ou solide.

Les matières aromatisantes naturelles sont des mélanges complexes de substances sapides, odorantes ou odorigènes obtenues par des procédés physiques à partir des produits végétaux ou animaux appelés *aromates et denrées aromatiques* (fruits, cacao, vanille). Les matières aromatisantes synthétiques peuvent être identiques aux substances que l'on trouve dans les matières aromatisantes naturelles (citral, vanilline), ou différentes (artificielles). Les matières aromatisantes naturelles peuvent être renforcées par des matières aromatisantes synthétiques analogues aux composés que l'on retrouve dans la nature.

Il existe également une catégorie de matières aromatisantes dont l'importance grandit et qui est obtenue par la réaction de Maillard, c'est-à-dire par réaction des acides aminés sur les sucres réducteurs.

Du fait de la complexité de sa composition, l'aromatisation exogène pose de nombreux problèmes qui ont tous pour origine la difficulté de définition objective des arômes. D'énormes progrès réalisés en chimie analytique, en particulier en chromatographie en phase gazeuse, sur colonne capillaire en verre, couplée à la spectrométrie de masse, ont mis en évidence la complexité de la composition des arômes et leur caractère fluctuant au travers de ses variations qualitatives et quantitatives. Cette complexité apparaît de plus en plus grande au fur et à mesure de l'amélioration des performances analytiques, et le chimiste est partagé entre la satisfaction purement méthodologique que lui procurent de telles performances et l'inquiétude d'être progressivement englué dans une situation qui risque de devenir inextricable. Ceci explique que les arômes soient certainement les additifs actuellement les moins connus tant sur le plan chimique que toxicologique.

L'effet sensoriel d'une aromatisation, c'est-à-dire la qualité organoleptique qu'elle communique à l'aliment, doit pouvoir être évalué. Pour ce faire, le scientifique doit tenter d'objectiver le plaisir. Comment ? Tout d'abord en utilisant les sens, en particulier le goût et l'olfaction comme instruments de mesure. En choisissant les opérateurs et en analysant statistiquement les informations qu'ils donnent, il est possible d'obtenir une fiabilité acceptable pour une méthode subjective. Contrairement aux dégustations ou tests organoleptiques, l'analyse sensorielle n'a pas pour but de porter des jugements de valeur, toujours relatifs et de ce fait discutables, mais de mettre en évidence des différences. Par exemple, l'analyse sensorielle permettra de savoir si l'échantillon A est différent de l'échantillon B. L'examen organoleptique dira, avec toutes les réserves que l'on peut faire à ce type d'appréciation, que A est meilleur que B.

Une autre approche plus rationnelle consiste à identifier et à évaluer les différents composés chimiques responsables de l'arôme, et à essayer d'établir une relation entre cette composition et les impressions sensorielles ressenties. C'est une approche longue et difficile qui exige d'importants moyens en matériel (techniques chromatographiques, spectromètre de masse, entre autres) et qui, il faut bien le dire, est encore loin à l'heure actuelle d'être opérationnelle.

▼ *Arômes naturels utilisés en confiserie.*



Cedus


D. Bouquignaud - Top

◀ *La chocolaterie a un aspect affectif et symbolique, particulièrement au moment des fêtes de Pâques.*

Quels que soient les critères retenus pour l'évaluation de la qualité organoleptique, il est nécessaire d'avoir une référence, un étalon. En toute logique, il semble évident de choisir le bon produit. Mais qu'est-ce que le bon produit ? Voilà une notion extrêmement fluctuante qui varie en fonction de nombreux facteurs, habitudes alimentaires, coutumes, conditionnement et nature des individus. Certains des fromages typiques que nous apprécions font l'objet, à l'étranger et en particulier aux États-Unis, de réactions de rejet, voire même de dégoût.

Une fois la référence choisie, il faut déterminer les composantes objectives de son contenu psychosensoriel et ensuite jouer sur les paramètres des processus de fabrication de façon à s'en rapprocher le plus possible.

Il est intéressant d'illustrer ce chapitre sur les arômes par un exemple typique d'aromatisation endogène, la chocolaterie, et un cas où l'aromatisation exogène est fondamentale, la confiserie.

Pour situer le problème, dans un premier temps, il est utile de définir comparativement ces deux industries, qui présentent des points communs et des différences notables.

● En ce qui concerne les **points communs**, il faut tout d'abord noter que les industries de la chocolaterie et de la confiserie fabriquent toutes les deux des produits dont l'importance du contenu psychosensoriel et affectif est la caractéristique principale. Les produits de confiserie et de chocolaterie sont faits pour le plaisir. L'aspect nutritionnel, en l'occurrence, est plutôt un facteur d'inhibition du désir. Le consommateur de nos sociétés pléthoriques est, vis-à-vis de ces aliments particuliers, placé devant cette douloureuse alternative : ou éprouver, en les consommant, un plaisir quelque peu gâché par la crainte de grossir, ou de déclencher, en s'abstenant, un processus de frustation. L'aspect affectif et symbolique de ces produits est très marqué, en particulier en France où leur consommation s'effectue principalement au moment des fêtes (Pâques, Noël).

Ces deux industries ont sensiblement le même poids économique, et leurs intérêts sont défendus sur le plan national, le plan international et celui de la CEE par des organismes communs. Dans les deux cas, le sucre intervient pour une très large part comme matière première. Enfin les deux secteurs s'interpénètrent au niveau de la confiserie de chocolat.

● Les **différences** apparaissent lors de l'examen des principes des technologies. Si l'importance quantitative du sucre est du même ordre de grandeur dans les deux industries, son rôle est fondamental en confiserie où ses propriétés physiques, solubilité, cristallisation, décristallisation, sont à la base des multiples technologies de cette industrie, alors qu'en chocolaterie le sucre se comporte pratiquement comme un constituant physiquement et chimiquement inerte n'intervenant dans le processus de fabrication du chocolat qu'en fonction de sa granulométrie. L'industrie de la confiserie repose donc sur la technologie du sucre, qui se déroule en milieu hydrophile, celle de la chocolaterie sur la technologie du cacao, laquelle s'effectue en phase lipidique.

Enfin, la chocolaterie présente une certaine homogénéité technologique. Au contraire, la confiserie est caractérisée par une grande pluralité des technologies se répercutant sur le plan de l'aromatisation qui est représentée par les trois grands types décrits précédemment. L'aromatisation endogène préexistant au processus technologique se rencontre dans les pâtes de fruits et dans les pâtes d'amandes dont le seul arôme est celui des fruits ou des amandes les composant. L'aromatisation endogène formée en cours de fabrication se rencontre dans les caramels dont l'arôme résulte de la réaction de Maillard entre les acides aminés du lait et les sucres réducteurs. Pour la grande majorité de tous les autres produits de la confiserie, dont la liste est longue (sucres cuits, confiseries gélifiées, pâtes à mâcher, chewing-gum, pastilles, etc.), l'aromatisation est exogène. En chocolaterie, l'aromatisation est endogène, formée au cours du processus de fabrication.

### ★ La confiserie : aromatisation exogène

Bien que la confiserie regroupe un grand nombre de technologies parfois très différentes les unes des autres, il est possible de trouver une base technologique commune dans la plupart des cas. En effet, le processus de fabrication consiste généralement dans un premier temps à mettre en solution du sucre cristallisé, puis à évaporer l'eau de cette solution (cela reste valable même dans le cas de la fabrication du sucre cuit par cuisson-extrusion, procédé qui est actuellement au stade expérimental, où le sucre est décristallisé par dissolution dans l'eau du sirop de glucose) afin d'obtenir le saccharose sous forme amorphe ou vitreuse en évitant sa cristallisation (sucres cuits) ou en le faisant cristalliser d'une façon déterminée (fondants, fudges, etc.). Tout l'art du confiseur consiste donc à empêcher ou à favoriser suivant le cas la cristallisation du saccharose après avoir procédé préalablement à sa décristallisation en créant l'aromatisation et la coloration (caramels), ou en les choisissant judicieusement et en s'efforçant de les maintenir tout au long du processus de fabrication (pâtes de fruits : aromatisation endogène ; sucres cuits : aromatisation exogène).

Évidemment, le but de l'addition d'arômes est d'obtenir un produit fini présentant de bonnes caractéristiques organoleptiques, or la qualité de l'arôme ajouté n'entraîne pas d'emblée celle du produit fini. Les divers constituants non aromatiques des produits de confiserie (sucre, sirop de glucose, gomme) ainsi que les traitements qu'ils subissent sont quelquefois à l'origine de profondes modifications de l'arôme de départ. La formulation de l'arôme doit donc être faite en considérant le produit fini.

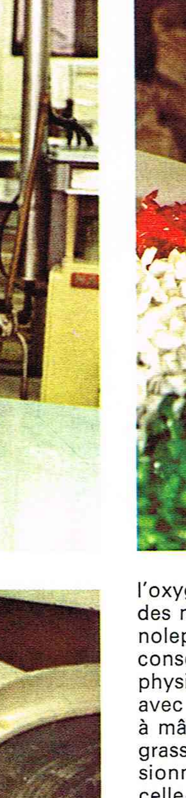
Diverses réactions, principalement chimiques, peuvent avoir lieu au cours de la fabrication et de la conservation d'un produit de confiserie. Ces réactions, ainsi que les conséquences des propriétés physiques des arômes, se manifestent notamment au cours de la distillation et de l'entraînement à la vapeur. Elles provoquent des modifications favorables ou défavorables de l'arôme ainsi que la perte de la totalité des constituants aromatiques ou de certains d'entre eux. Ces modifications de l'aromatisation sont sous la dépendance des différents paramètres physiques de la fabrication et de la conservation.

Au cours de la fabrication, c'est certainement la température qui a le rôle le plus important. Elle est différente suivant que la fabrication est effectuée à la pression atmosphérique ou sous pression réduite, ou encore en continu ou en discontinu. Dans les installations modernes, les températures utilisées pour la fabrication des sucres cuits varient de 110 à 130 °C. Si les réactions chimiques sont surtout fonction de la température, la volatilité des composés aromatiques est influencée à la fois par la température et la pression. Les pertes qu'elle occasionne sont sensiblement les mêmes, toutes choses égales par ailleurs, que l'on travaille à température élevée à la pression atmosphérique ou à basse température sous pression réduite.

Pendant la conservation, c'est principalement le temps,

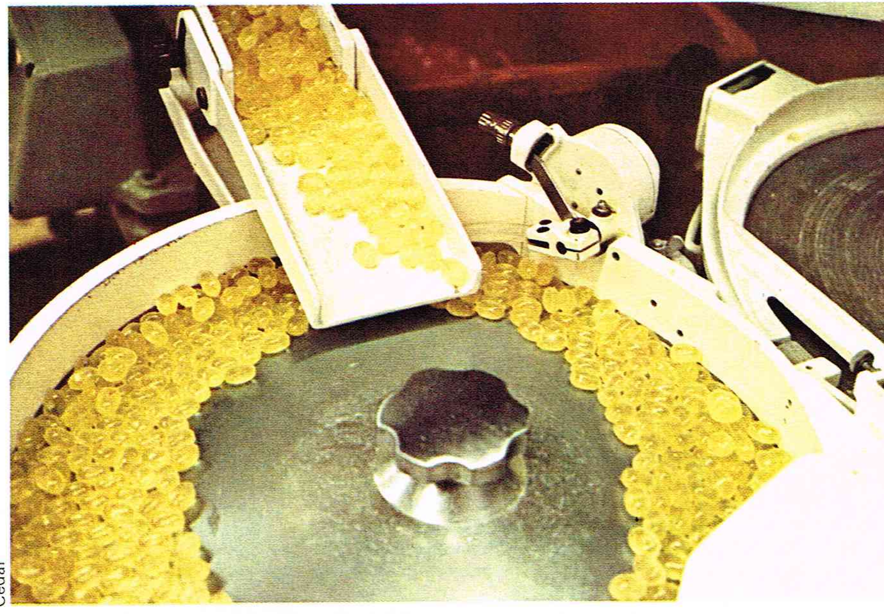


Cedal



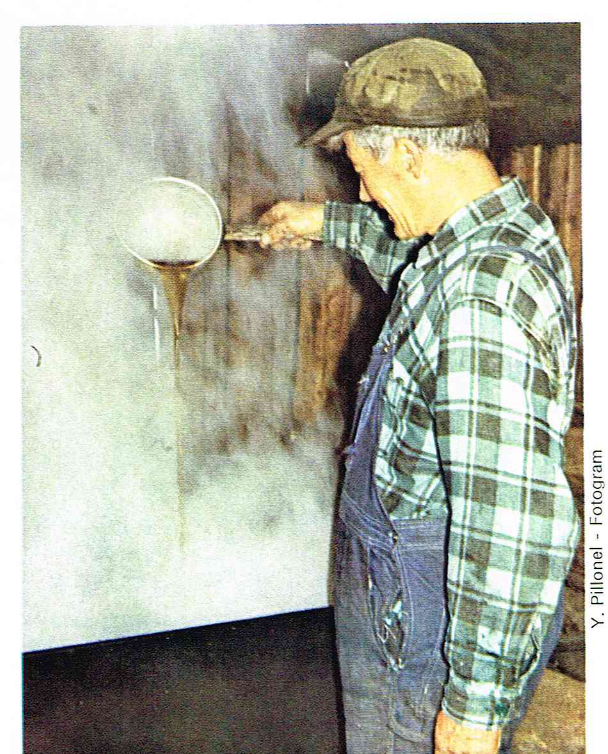


Cedal



Cedal

***▲▶ Deux phases de la fabrication de bonbons (en haut, à gauche et ci-dessus). En haut, à droite, la coloration dans la masse de la confiserie peut-être avantageusement remplacée par celle du papier d'emballage.***



Y. Pillonel - Fotogram

***▶ Essais de viscosité du sirop d'érable.***

l'oxygène et l'humidité relative de l'air qui sont à l'origine des modifications les plus importantes. L'altération organoleptique des produits de confiserie au cours de la conservation débute généralement lorsque la structure physique est modifiée. Cela est particulièrement net avec les produits comme les caramels mous ou les pâtes à mâcher qui ont des structures dispersées. Les matières grasses et les composés hydrophiles finement émulsionnés sont stabilisés par la viscosité du milieu ; si celle-ci vient à baisser à la suite d'une prise d'humidité ou de la cristallisation d'une partie du saccharose en solution, l'émulsion est rompue. Les composés lipophiles se séparent alors du milieu hydrophile. En venant à la surface du produit, ils perdent la protection qu'ils avaient dans la structure dispersée où la phase continue, non seulement isolait des substances lipophiles du milieu extérieur, mais créait elle-même, du fait de sa composition (sucres réducteurs), un milieu favorable à leur conservation. Les matières s'oxydent alors, ce qui a pour conséquence une altération des propriétés organoleptiques du produit fini.

Les produits utilisés pour l'aromatisation exogène des articles de confiserie peuvent varier à l'infini au gré de la fantaisie du fabricant. Leur but est de donner à ceux-ci une aromatisation aussi attractive que possible. Ils doivent présenter un pouvoir d'aromatisation élevé et un support le plus neutre possible. L'eau, les matières grasses, les composés azotés ou glucidiques qui accompagnent les composés aromatiques dans les aromates ou les extraits peuvent, aux températures utilisées, provoquer des réactions compromettant l'aromatisation désirée.

Les produits aromatiques posent également en confiserie le problème de leur incorporation. Ils sont constitués de composés en général peu ou pas solubles dans l'eau, qui doivent être dispersés dans une masse hydrophile (sucre, sirop de glucose, eau).

Étant donné la très faible importance du rapport composés aromatiques/produits finis, et la cadence de production des installations modernes, il est nécessaire de diluer les composés aromatiques dans des solvants. Ceux-ci sont limités en nombre par la réglementation en vigueur. L'alcool est trop volatil et peut favoriser des pertes d'arôme au moment de l'incorporation, par volatilisation brutale et distillation azéotropique. On préfère les solvants lourds comme le diéthylèneglycol.

Bien entendu, les solvants utilisés doivent présenter une totale neutralité de goût. La dispersion s'effectue d'autant mieux que la masse est plus fluide, c'est-à-dire qu'elle est à plus haute température. Pour éviter les décompositions par pyrolyse, il faut toutefois éviter d'incorporer l'arôme, en particulier les huiles essentielles, à des températures supérieures à 120 °C. Au cours du refroidissement de la masse, la viscosité s'élève rapidement et la phase dispersée est figée. Tant que le sucre cuit conserve la forme vitreuse qui le caractérise, la dis-


J. Guillard - Top

J. Guillard - Top

▲ *A gauche, plantation de cacaoyer. A droite, séchage du cacao à Santo Amoro.*

persion reste stable malgré la non-miscibilité des deux phases. Il faut noter que l'aromatisation des sucres cuits est essentielle. Si l'on peut concevoir de tels produits non colorés, l'absence d'aromatisation leur enlèverait tout intérêt organoleptique.

Les arômes naturels purs sont très chers et donnent des résultats médiocres en confiserie pour les raisons qui ont été décrites ci-dessus. Les arômes artificiels peuvent avoir sur le plan commercial un effet dévalorisant pour le produit fini. L'arôme naturel renforcé avec des composés synthétiques semble être une solution satisfaisante pour ce secteur de l'industrie alimentaire. A la limite, technologiquement, la confiserie serait tentée d'adopter des arômes de synthèse reproduisant les caractéristiques du produit naturel et présentant un pouvoir aromatique et une stabilité plus grands que celui-ci.

D'ailleurs, il en est de même et pour les mêmes raisons (températures élevées au cours de la fabrication) pour les colorants naturels qui tiennent très mal en confiserie, particulièrement dans le cas des sucres cuits.

L'utilisation exclusive d'arômes et de colorants naturels aboutit à l'obtention de produits aux colorations disgracieuses et aux aromatisations faibles et dénaturées. Si l'on ajoute que les arômes et colorants naturels reviennent considérablement plus cher que les colorants et arômes synthétiques, l'on comprend que l'industriel hésite à adopter spontanément une telle solution.

En ce qui concerne la coloration, qui, nous le rappelons, n'est pas fondamentale en confiserie, puisqu'elle ne concerne que l'aspect sur lequel on peut agir par l'intermédiaire de l'emballage, le problème posé par les associations de consommateurs a été résolu d'une façon radicale en la supprimant. Alors que, pendant très longtemps, la coloration avait un pouvoir attractif, c'est maintenant son absence qui est recherchée. Il y a là un exemple de conditionnement culturel typique. Sur le plan commercial, un tel produit est valorisé par rapport à une confiserie colorée, qui a pourtant un prix de revient plus élevé. Nous nous trouvons là devant un type de paradoxe très fréquent dans le domaine marginal des produits diététiques où certains produits alimentaires non raffinés (sucres, huiles, etc.), recherchés pour leur intérêt biologique, sont vendus beaucoup plus cher que les mêmes produits raffinés dont le prix de revient est évidemment plus élevé.

Les arômes, après les colorants, commencent à faire l'objet de critiques de la part des associations de consommateurs. Les positions de repli seront infiniment plus difficiles à trouver que pour les colorants.

### ★ La chocolaterie : aromatisation endogène

L'aromatisation en chocolaterie est essentiellement, endogène, formée au cours du processus technologique.

Schématiquement, mais précisément, fabriquer du chocolat consiste à traiter le cacao, le sucre et éventuellement d'autres matières premières comme le lait de telle façon que l'on obtienne un produit d'aromatisation optimale qui se présente sous forme d'une dispersion de particules non grasses d'environ 20 μm de cacao et de sucre dans une phase lipidique continue amenée au cours du refroidissement sous une forme cristalline stable. Cette définition fait apparaître l'importance de l'aromatisation en chocolaterie.

Outre son rôle essentiel dans la qualité du chocolat, l'arôme cacao est utilisé dans de nombreux produits alimentaires. Dans ce cas, le cacao, et en particulier la poudre du cacao, joue le rôle d'aromate.

L'industrie de la chocolaterie utilise la fève de cacao ; celle-ci est obtenue dans les pays producteurs par traitement de la graine, à l'aide d'une série de fermentations qui donnent naissance aux précurseurs d'arômes, substances à partir desquelles se forment les arômes au cours de la torréfaction du cacao.

Si les autres phases de la fabrication du chocolat ne sont pas négligeables sur le plan de l'aromatisation finale, ce sont incontestablement la fermentation et la torréfaction qui jouent le rôle déterminant dans cette aromatisation.

Ces deux phases ont fait l'objet de recherches très approfondies en particulier dans les laboratoires européens.

▼ *Chocolaterie. Moulage de poissons en chocolat.*


D. Bouquignaud - Top

▶ *Page ci-contre, en haut, l'obtention de la qualité sous toutes ses formes est une préoccupation nouvelle de l'industrie; ici, laboratoire de contrôle d'une fabrique de sucre, Marseille.*

## La qualité des aliments

C'est une notion fondamentale, difficile à saisir dans sa relativité et sa pluralité. Elle préoccupe de plus en plus les industriels évolués et responsables.

Parmi les multiples formes que prend la qualité, trois se détachent nettement : la qualité nutritionnelle, la qualité hygiénique, la qualité organoleptique.

Un aliment est de bonne **qualité nutritionnelle** lorsque, donné à un individu, il lui permet de vivre d'une façon optimale. Cette qualité peut se définir objectivement à partir des compositions qualitative et quantitative en nutriments de l'aliment. Elle varie suivant les individus, en particulier suivant leur âge, leur sexe, leur activité. Un régime carencé en histidine aura de graves conséquences pour l'enfant dans la première année de sa vie, alors qu'il ne présentera aucun inconvénient pour un organisme adulte capable de synthétiser l'histidine, qui n'est plus pour ce dernier un acide aminé essentiel.

Une ration apportant une quantité de calories suffisante pour la vie d'une personne sédentaire sera insuffisante pour un travailleur de force.

Sans insister sur cet aspect, il faut dire que l'état de santé de l'individu conditionne la valeur nutritive des aliments. On peut citer à ce sujet une infinité d'exemples allant du diabétique, chez lequel le sucre aggrave la maladie, jusqu'à l'hypercholestérolémique, qui devra éviter tous aliments riches en cholestérol.

La qualité nutritionnelle dans le cas d'un animal omnivore comme l'homme est en fait une notion globale qui doit porter sur l'ensemble de la ration. A la limite, plus la variété des aliments consommés est grande, moins la qualité nutritionnelle de chacun d'entre eux pris séparément est importante, puisque, par le jeu des complémentarités et des supplémentations, les chances d'obtenir une ration équilibrée augmentent. A l'opposé, pour les animaux qui par nature ont une alimentation très spécialisée (carnivores, herbivores) ou pour les omnivores contraints à manger des aliments très peu diversifiés, comme c'est le cas pour une très forte proportion de la population humaine du globe, la qualité nutritionnelle des aliments est essentielle. Pour les habitants des pays occidentaux, dont l'alimentation est pléthorique, la qualité nutritionnelle est devenue inversement proportionnelle à sa valeur calorique ; de peur de grossir, ils réduisent la consommation d'aliments riches en calories comme les glucides ou les lipides.

La **qualité hygiénique** est importante. Une enquête récente de la Fondation pour la nutrition a montré qu'elle est actuellement la principale préoccupation des consommateurs vis-à-vis de leur alimentation.

Il est tout à fait évident qu'un aliment doit être dépourvu de toute toxicité ou de tout facteur antinutritif compromettant l'utilisation des nutriments. Or l'aliment est un excellent milieu de culture pour les germes microbiens banals et pathogènes, qui peuvent être à l'origine d'intoxications graves et quelquefois mortelles. Certaines bactéries agissent par l'intermédiaire de leurs toxines, comme les staphylocoques ou le *Clostridium botulinum*, qui sécrète une toxine extrêmement dangereuse. Cette bactérie se développe dans les conserves mal stérilisées. D'autres bactéries agissent directement, comme les salmonelles ou les streptocoques.

L'industrie alimentaire a été à l'origine d'une nette amélioration sur ce plan. Les fabrications artisanales s'effectuaient autrefois, et continuent d'ailleurs à s'effectuer actuellement, dans des conditions d'hygiène quelquefois discutables. Le manque de formation professionnelle et l'absence de prise de conscience de l'importance du problème d'hygiène en alimentation y sont sans doute pour beaucoup. Mais c'est surtout le prix de la propreté qui n'est pas à l'échelle artisanale. Lorsque, sur le plan réglementaire, la quantité maximale de germes totaux à été fixée à 100 000 au gramme pour les glaces, on s'est rapidement aperçu que si, dans les conditions de l'industrie, on pouvait facilement respecter cette limite, celle-ci était toujours très largement dépassée dans les fabrications artisanales, aussi propres fussent-elles.

L'industrie a éliminé les risques d'intoxication aiguë. Malheureusement, il semble que les risques à long terme ont été augmentés par la « chimisation » des industries alimentaires. Ce sont ces risques nouveaux, insidieux, plus ou moins bien définis, hypothétiques ou réels, qui ont amorcé le mouvement des consommateurs. Toutes les substances étrangères que l'on rencontre dans les aliments industriels (polluants de toutes natures, pesticides, additifs) sont systématiquement suspectées. C'est sans doute un des principaux problèmes que l'industrie alimentaire aura à résoudre dans les années à venir et qui nécessitera de repenser toutes les technologies verticales.

La production artisanale d'aliments est caractérisée par une grande variabilité de la **qualité organoleptique** des produits finis ; cette variabilité est la conséquence d'une mauvaise connaissance des différents paramètres qui interviennent dans un processus de fabrication. La qualité organoleptique peut atteindre des sommets inégalés ou s'effondrer suivant l'artisan, mais également suivant les aléas des conditions de la fabrication. Un fromage peut être plus ou moins bien fabriqué et, de ce fait, plus ou moins bon. Mais une bonne fabrication peut être à la merci d'accidents divers, et en particulier, dans le cas du fromage, être l'objet d'une contamination par des micro-organismes indésirables qui dévient les processus normaux d'affinage.

Cette inconstance dans la qualité des produits artisanaux, au niveau principalement de la couleur, de l'arôme et de la texture, est mal acceptée par le consommateur qui souhaite chaque jour retrouver les mêmes propriétés pour les produits qu'il achète.

Comme les autres industries, l'industrie alimentaire a le souci de la standardisation. Après avoir défini le produit à l'aide de différents critères choisis et quantifiés, l'industrie s'efforce, tout au long des processus de fabrication, de maintenir ces critères constants. Cela revient pratiquement à ne tolérer des variations qu'à l'intérieur de limites, fixées *a priori*, aussi étroites que possible. Il est évident que ces limites peuvent être très étroites, par exemple pour les critères permettant de caractériser les dimensions d'une pièce métallique. Elles seront, en revanche, relativement larges dans le cas des produits alimentaires, où les facteurs de variations sont extrêmement nombreux.

Cette standardisation des produits alimentaires a été faite dans de nombreux cas à un niveau de qualité médiocre, si bien qu'elle a eu pour conséquence une *banalisation des aliments* sur le plan organoleptique. Si la « chimisation » des industries alimentaires est profondément ressentie par les consommateurs comme un risque pour leur santé, la banalisation organoleptique a engendré une sorte de frustration qui détourne progressivement le consommateur des produits industriels. Le produit naturel reprend alors pour lui tout son intérêt, puisqu'il est, lui semble-t-il, à la fois dépourvu de dangers pour sa santé et source de plaisir.

D'importants efforts sont faits actuellement pour obtenir des aliments d'une innocuité parfaite. Mais lorsque les qualités nutritionnelles et hygiéniques auront atteint des valeurs satisfaisantes, le consommateur ne disposera par pour autant d'un bon aliment. La valeur nutritionnelle et l'absence de toxicité représentent deux composantes fondamentales de la qualité, mais la composante hédonique de celle-ci doit être considérée, contrairement à ce qui s'est passé jusqu'à présent, comme très importante. Après les deux autres, la qualité organoleptique doit faire l'objet d'une attention particulière. L'industriel aura toujours présent à l'esprit qu'un aliment doit avoir certes une valeur nutritive et être dépourvu de toxicité, mais également procurer le maximum de plaisir à celui qui le consomme.

Cet aspect de la qualité n'est pas la préoccupation des seuls gastronomes. Les nutritionnistes lui accordent, de nos jours, une grande importance.

La réglementation définit généralement certains aliments en fixant des limites maximales pour les constituants dévalorisant le produit fini, et minimales pour les constituants « nobles ». Par exemple, les pâtes aux œufs doivent contenir au moins 14 % d'œufs, le sucre vanillé au moins 10 % de vanille en gousse. Alors qu'à l'inverse, la teneur en eau des confitures ne doit pas dépasser 40 %.

Outre ces exigences quantitatives, la législation impose des contraintes qualitatives, notamment dans le cas des appellations traditionnelles. Un extrait de vanille doit être obtenu à partir de gousses de vanille et ne pas contenir,

même comme renfort, des constituants aromatiques synthétiques. Le chocolat doit être fabriqué avec du beurre de cacao, matière grasse extraite de la fève de cacao, et non avec des graisses de remplacement, aussi bonnes et aussi proches du beurre de cacao soient-elles.

La viande, le lait doivent avoir les origines que nous leur connaissons, et en tout cas ne pas être obtenus à partir de protéines végétales, aussi parfaite que puisse être l'imitation. Il s'agit là d'une conception éthique de l'authenticité, de la pureté des matières premières. La France lui est très attachée. A l'opposé, en Grande-Bretagne, cette conception a peu de signification. Actuellement, compte tenu du prix des matières premières et de l'importance des conséquences économiques que cela entraîne, des révisions déchirantes de conception sont en cours.

Objectivement, il est très possible de se satisfaire, pour un aliment, des trois qualités précédemment définies sans se préoccuper de l'authenticité de ses différents constituants. Ainsi, le chocolat, produit alimentaire constitué de sucre, pâte de cacao et beurre de cacao, est défini et protégé par une réglementation déjà très ancienne. On peut, dans l'état actuel de nos connaissances, fabriquer un chocolat en remplaçant le beurre de cacao par des matières grasses aux caractéristiques proches de celui-ci sans modifier la qualité du produit fini. Il est vraisemblable que l'on pourra faire de même avec les constituants non gras du cacao. Ce qui aboutirait à la limite à faire du chocolat sans cacao. Si les trois qualités, nutritionnelle, hygiénique et organoleptique atteignent dans ce produit les mêmes niveaux que dans le chocolat traditionnel, rien de rationnel n'empêche de les confondre. Seule l'éthique de la pureté ou de l'authentique peut les distinguer.

Jusqu'à présent, les conceptions de l'aliment étaient nettement séparées. Les uns ne voyaient que la finalité, c'est-à-dire l'obtention des trois qualités fondamentales, les autres défendaient l'authenticité des produits. Actuellement, on assiste à la naissance d'un compromis entre les deux positions, les tenants de la sacro-sainte notion de « pureté » laissant, sous la pression de l'économie, s'ouvrir une brèche dans leur conception. Même si pour l'instant la porte ne s'entrouvre que légèrement, on peut prévoir que rien dans l'avenir ne pourra l'empêcher de s'ouvrir plus largement.

## *Obtention et contrôle de la qualité*

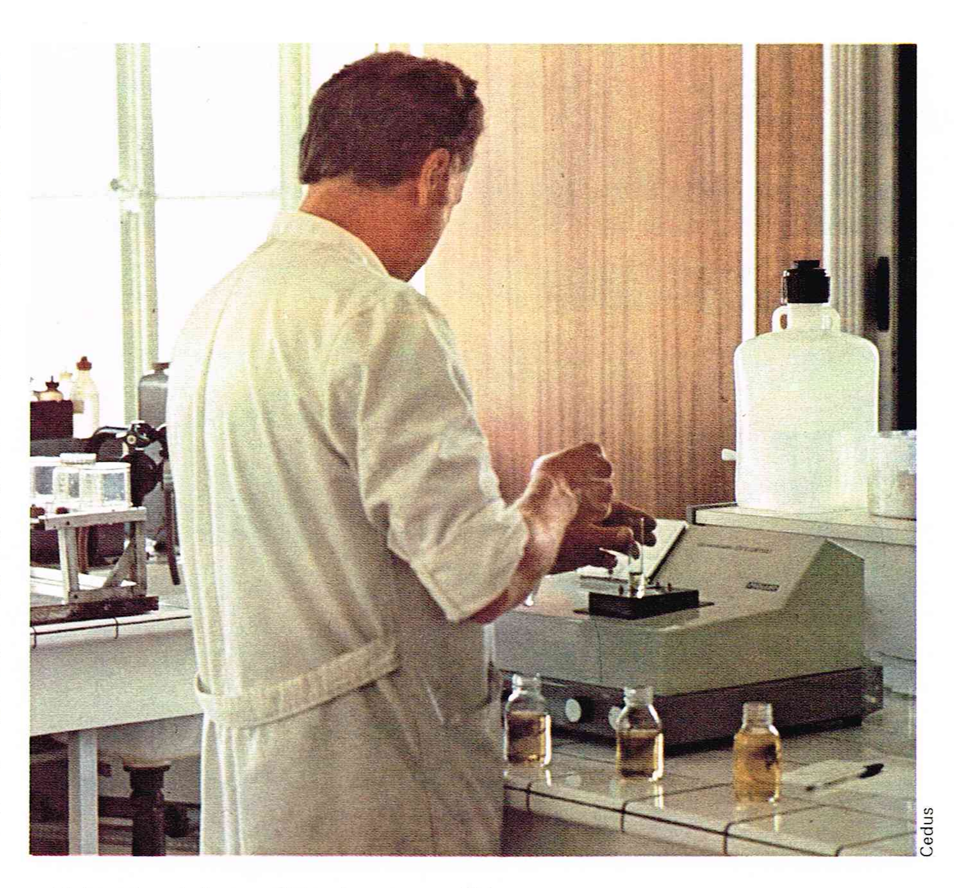
L'obtention de la qualité sous toutes ses formes est une préoccupation nouvelle de l'industrie. Jusqu'à présent, seule la qualité « marketing », *celle immédiatement apparente*, était recherchée.

L'industrie alimentaire commence à prendre conscience des vrais problèmes de qualité, mais surtout, et c'est là un élément intéressant, elle accepte ses responsabilités dans ce domaine comme les consommateurs l'ont contrainte à le faire, car en définitive, aux yeux de ceux-ci, seule l'industrie est responsable de ce qu'elle produit. Le transfert de responsabilité vers les instances officielles qui ont conclu à l'innocuité de certains produits (liste positive des additifs), ou vers l'agriculture qui fournit les matières premières à l'industrie, est de moins en moins effectué.

L'exemple des pesticides est significatif à ce sujet : lorsqu'on les retrouve dans les produits alimentaires au-delà des doses tolérées, c'est vers celui qui les fabrique que les consommateurs se retournent. Et la défense de l'industriel qui consiste à dire : « Je n'y peux rien, ce sont les matières premières que l'agriculture me fournit qui sont polluées », représente un argument de bien peu de poids dans le dialogue industriel-consommateur.

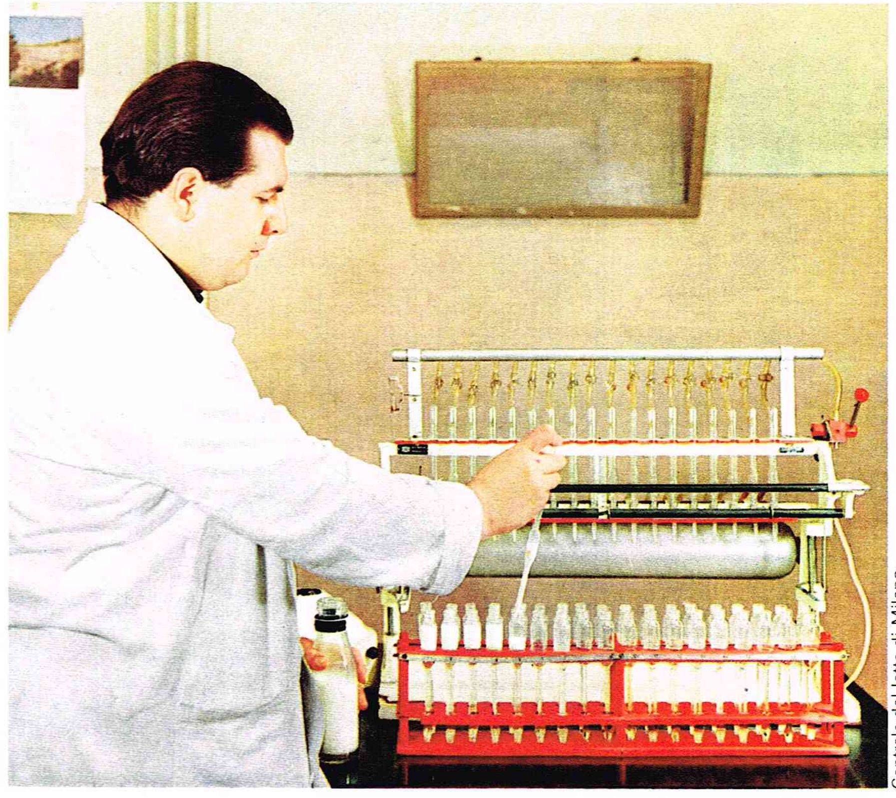
Conscients de cela, certains industriels contrôlent les matières premières qu'ils reçoivent et éliminent celles qui leur semblent contenir des quantités de pesticides anormalement élevées. Cela nécessite de leur part une certaine organisation et surtout de posséder un laboratoire ou un service « qualité », ce qui ne se conçoit que pour les affaires relativement importantes.

A la limite, les firmes multinationales vont jusqu'à prévoir les réactions des consommateurs et devancent quelquefois les décisions des instances nationales et internationales. Cela a été le cas pour l'amarante qui a été retirée des fabrications avant que la décision de retrait soit prise officiellement.


Cedus

L'obtention de la « qualité » dans ses multiples aspects exige au départ une certaine politique de la firme qui définit les finalités à atteindre. Il faut ensuite avoir les moyens de cette politique, moyens importants, puisqu'en fait les actions s'exercent à tous les niveaux et dans tous les secteurs de la firme, et qu'il faut pouvoir en contrôler constamment les effets. Cette phase du contrôle de la qualité, certes très importante et très onéreuse (elle exige des laboratoires de plus en plus perfectionnés), n'est qu'un aspect de l'obtention de la qualité.

▼ ***Laboratoire de contrôle du lait. Des analyses sont effectuées pour déterminer le pourcentage de matières grasses contenues dans le lait (contrôle du lait à Milan).***

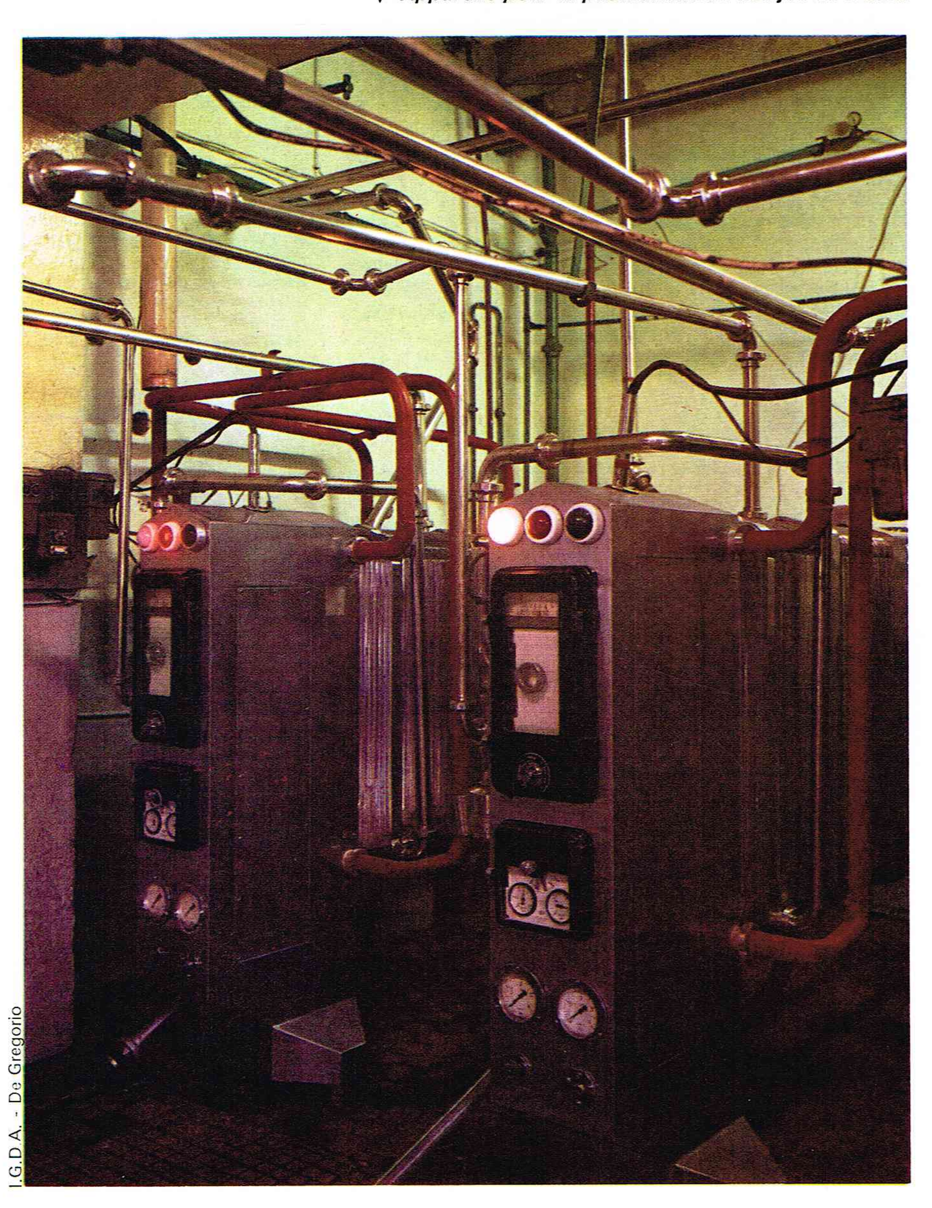

Centrale del latte di Milano



Ian Berry - Magnum

▲ *Pour répartir la vente d'un produit alimentaire tout au long de l'année, il faut résoudre le problème de la conservation. Ici, traitement des pommes en vue de leur conservation.*

▼ *Appareils pour la pasteurisation des jus de fruits.*



I.G.D.A. - De Gregorio

## *La conservation des aliments*

Les produits alimentaires sont, par leur composition, relativement fragiles. Ils subissent au cours du temps, dans des conditions normales de conservation et suivant leur nature, différentes modifications qui peuvent avoir des origines biologiques, chimiques ou physiques : putréfaction des produits carnés, fermentation des produits végétaux, hydrolyses, oxydation des matières grasses.

Le maintien des qualités organoleptiques, nutritionnelles et hygiéniques des aliments est un problème qui préoccupe les hommes depuis très longtemps. Il se pose encore aux industriels pour s'affranchir du caractère saisonnier des productions agricoles, dans certaines industries agricoles comme celles qui fabriquent des confitures, des fruits confits, des arômes de fruits (ces industries peuvent répartir leur activité sur toute l'année si les fruits sont conservés), et du caractère saisonnier de certaines industries alimentaires comme la chocolaterie (les produits de cette industrie sont surtout vendus à Pâques et Noël). Pour des questions de productivité, une répartition de la production est nécessaire, ce qui implique de pouvoir conserver les produits en attendant les périodes de vente maximales.

D'autre part, les circuits de distribution archaïques qui persistent encore imposent aux produits une durée de conservation longue dans des conditions difficiles.

Enfin, le consommateur aimerait voir se prolonger le plus longtemps possible, pour des questions pratiques, l'état de fraîcheur dans lequel se trouvait le produit au moment de l'achat.

### *Modifications des aliments ayant des causes biologiques*

Les aliments constituent un milieu favorable au développement des germes microbiens qui y trouvent les nutriments indispensables à leur croissance. L'action des micro-organismes sur les aliments peut être bénéfique : c'est le cas en brasserie, en fromagerie, en vinification où les produits résultent du travail des micro-organismes. Cette action peut également provoquer une détérioration ou une contamination de l'aliment, due soit à des germes banals, soit à des germes pathogènes. Les pâtisseries, les produits de charcuterie, les glaces contiennent quelquefois de grandes quantités de germes banals, plusieurs centaines de milliers par gramme. Leur nombre est fonction des soins en matière d'hygiène au cours de leur préparation.

Les germes banals ne présentent, comme leur nom l'indique, aucun risque pour la santé, mais si leur nombre est très important (malpropreté des fabrications), les chances qu'ils soient accompagnés de germes pathogènes augmentent. Bien entendu, pour ces derniers, la réglementation est sévère et ne tolère pas leur présence dans les aliments.

Les germes banals et pathogènes peuvent être présents dans les aliments sans que les qualités organoleptiques de ceux-ci en soient modifiées. En revanche, le développement de ces micro-organismes dans un aliment entraîne de profondes modifications de celui-ci, qu'il s'agisse de la putréfaction des viandes provoquée par les bactéries, ou des profondes altérations des produits végétaux consécutives au développement des moisissures ou des levures. Le développement de certaines moisissures, comme l'*Aspergillus flavus*, peut rendre l'aliment très dangereux. En effet, insidieusement, cette moisissure sécrète une toxine qui est considérée comme un des plus puissants facteurs cancérigènes hépatiques connus.

L'altération d'origine biologique des aliments n'est pas due à la seule présence des micro-organismes, mais à leur développement. Ce qui veut dire qu'un aliment se conservera :

— s'il ne contient pas de micro-organismes, ce qui est évident et ne se rencontre pratiquement pas, ou si les micro-organismes qu'il contenait ont été tués, et dans les deux cas à condition que l'aliment ne soit pas contaminé au cours de sa conservation ;

— si l'on empêche les micro-organismes présents dans l'aliment de se développer.

Centrale del latte di Milano

● L'**élimination des micro-organismes** se fait **par traitement chimique** (il faut considérer ici la température et le temps : moins la température est élevée, plus le temps de traitement doit être long, et inversement). Les germes pathogènes sont plus sensibles que les germes banals.

— La *pasteurisation*, qui s'effectue à température relativement basse (72 °C pendant 15 secondes), élimine préférentiellement les germes pathogènes. Les produits bien pasteurisés ne présentent plus de risque pour la santé mais leur conservation n'est pas assurée, puisque les germes banals n'ont pas été tués.

— Dans la *stérilisation* (quelques minutes à 115 °C), au contraire, tous les germes sont tués. Si les produits restent à l'abri des contaminations ultérieures, comme c'est le cas dans les boîtes de conserve ou les bouteilles de lait, la conservation est pratiquement illimitée. Ce traitement thermique présente l'inconvénient — et cela d'autant plus qu'il s'effectue à température plus élevée — de détruire des nutriments, et en particulier de dénaturer les protéines. Pour le lait, outre les pertes importantes en vitamines $B_1$, C, $B_{12}$, en acide folique et en protéines, la stérilisation traditionnelle provoque des modifications également sur le plan organoleptique.

Récemment, la *stérilisation UHT* (Ultra-Haute Température) a permis de pallier ces inconvénients. Le procédé est fondé sur la constatation qu'une augmentation de température a plus d'effet sur la vitesse de destruction des micro-organismes que sur la vitesse des réactions chimiques (dégradation des nutriments). Le lait est traité à 145 °C pendant 1 à 2 secondes. Ni les nutriments ni les qualités organoleptiques ne sont altérés par ce traitement.

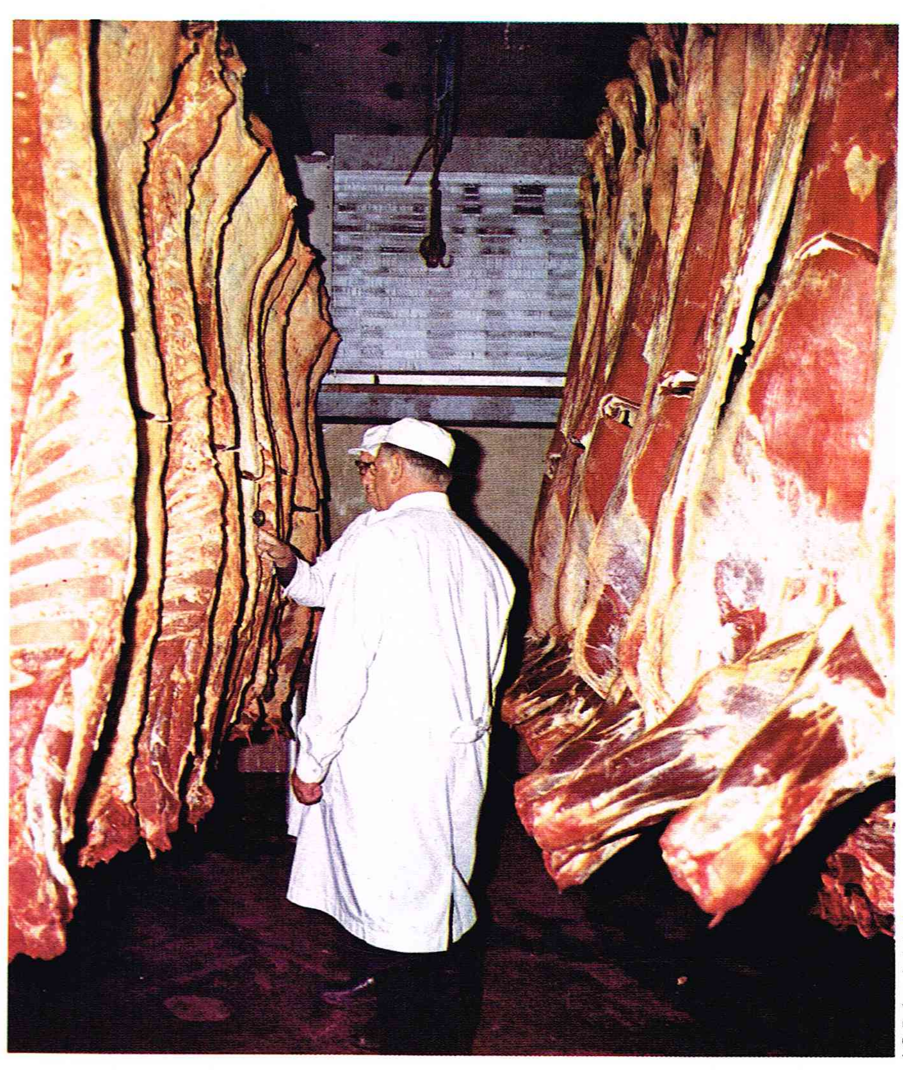
Bien entendu, les aliments stérilisés ne se conserveront qu'aussi longtemps qu'ils resteront à l'abri des contaminations microbiennes. Les contenus d'une boîte de conserve ou d'une bouteille de lait s'altèrent très vite après l'ouverture de ces récipients.

● La deuxième possibilité de conservation des aliments est de créer des **conditions physiques** ou de milieu telles que les micro-organismes ne puissent se développer.

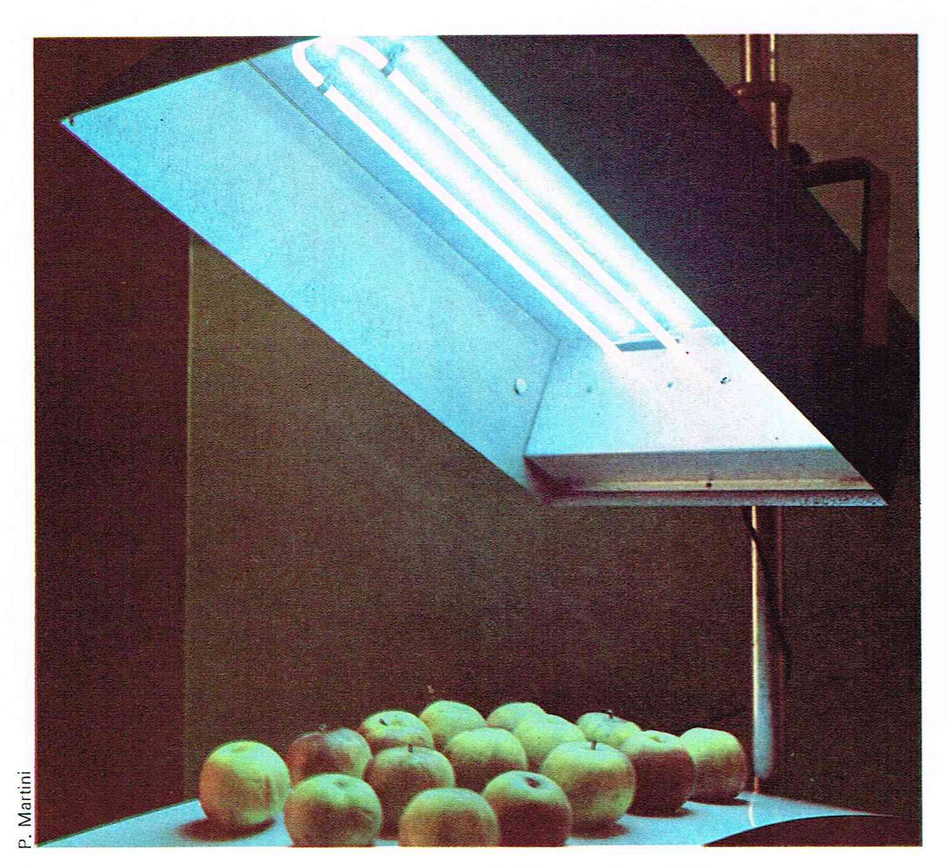
En ce qui concerne les conditions physiques, la température joue un rôle de premier ordre. Tous les êtres vivants présentent des températures auxquelles leur activité est optimale. Nous avons vu que les températures élevées détruisent la matière vivante. A l'opposé, les températures basses ralentissent les activités vitales. Au froid, les produits alimentaires s'altèrent moins vite parce que l'activité des micro-organismes est réduite. Si la température est suffisamment basse, on peut obtenir

▲ *Implantation pour le traitement du lait longue conservation par le procédé U.H.T. (stérilisateur ultra-haute température).*

▼ *Visite de contrôle d'un entrepôt de viandes congelées à Montevideo (Uruguay).*



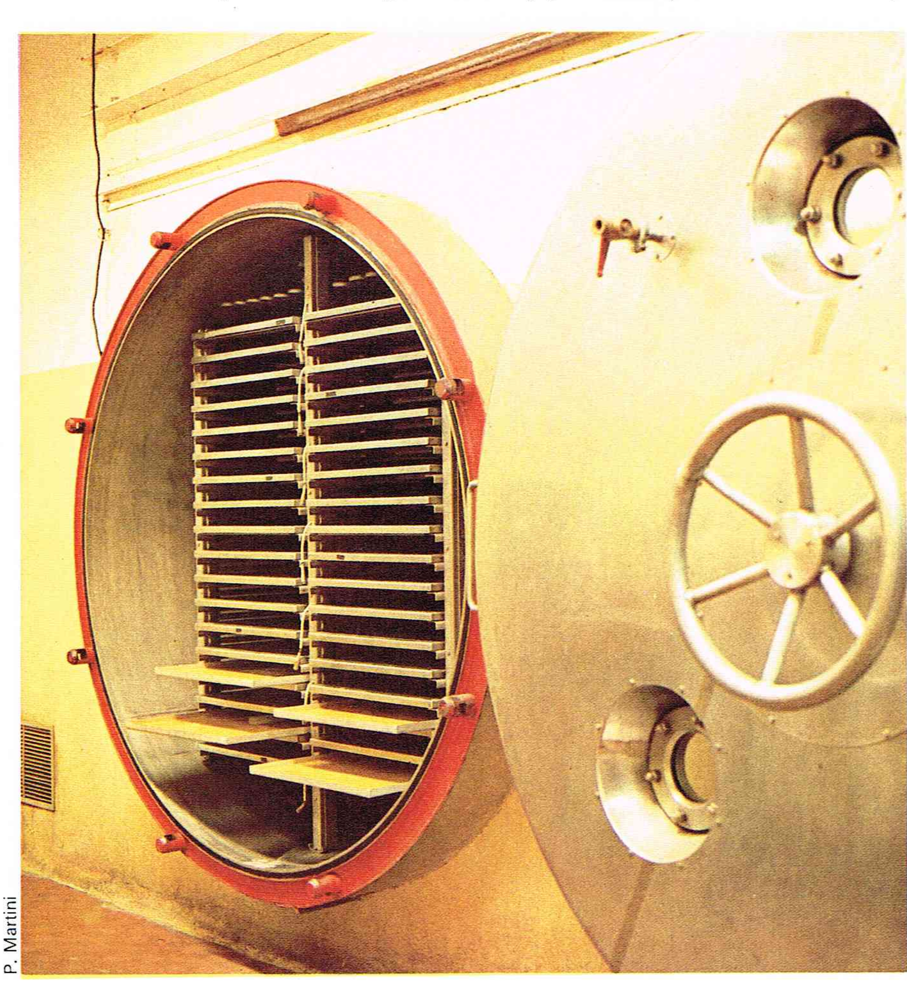
I.G.D.A. - Leigheb



P. Martini

▲ *Irradiation par les ultraviolets de fruits destinés à être conservés. Cette méthode n'est pas encore très répandue.*

▼ *Porte de chargement d'un lyophilisateur (Lio Prodal - Messine).*



P. Martini

la mort apparente des bactéries, moisissures, levures... Il s'agit bien d'une mort apparente. En effet, si la température redevient normale, les micro-organismes reprennent leur activité.

— La *congélation* présente l'inconvénient d'altérer les tissus. Par contre, la *surgélation*, qui porte les aliments à une température plus basse, environ — 20 °C en un temps très court, forme des microcristaux de glace qui ne traumatisent pas les cellules comme les gros cristaux formés au cours de la congélation. Les produits surgelés retrouvent donc leur aspect d'origine lorsqu'ils sont portés à température ordinaire. La surgélation stabilise la population microbienne au niveau de départ pendant tout le temps qu'elle dure. Elle permet de conserver les qualités nutritionnelles et organoleptiques des aliments : c'est une des meilleurs méthodes de conservation des produits alimentaires. Mais elle exige une chaîne du froid continue sur le plan de la distribution et sur le plan des ménages (nécessité d'avoir des freezers). Cette technique s'est considérablement développée aux États-Unis. Les durées de conservation sont très longues : 1 an pour les fruits et légumes ; 9 mois pour les viandes, volailles ; moins de 6 mois pour les poissons.

— L'*irradiation*, elle aussi, diminue l'action des enzymes et ralentit l'activité des micro-organismes. Les aliments sont traités soit par rayons X, soit par des faisceaux d'électrons. Cette technique a été expérimentée dans plusieurs pays après la Seconde Guerre mondiale. Elle a donné des résultats intéressants dans le traitement des pommes de terre, qui voient leur pouvoir germinatif inhibé, d'où une conservation plus longue de ces végétaux.

Bien que des résultats encourageants aient été obtenus pour différents produits alimentaires, cette méthode a du mal à quitter le stade expérimental. Il faut dire que « l'image de marque » de l'irradiation n'est pas excellente dans l'esprit du public ; de plus, ce traitement altère quelque peu les produits sur le plan organoleptique (saveurs déplaisantes, modifications de texture et de couleurs) et sur le plan nutritionnel (destruction de certaines vitamines).

● Les micro-organismes ont besoin pour vivre d'une certaine quantité d'eau qu'ils trouvent dans de nombreux aliments naturels (l'eau entre pour plus des trois quarts dans la composition de la matière vivante). La **déshydratation** des aliments, en éliminant cette eau indispensable à la vie des micro-organismes, stoppe leur activité.

— Le moyen le plus simple de déshydrater les aliments est de les *sécher au soleil ou à l'air chaud*. Les modifications qu'ils subissent dans ces conditions sont très importantes tant sur le plan organoleptique que sur le plan nutritionnel.

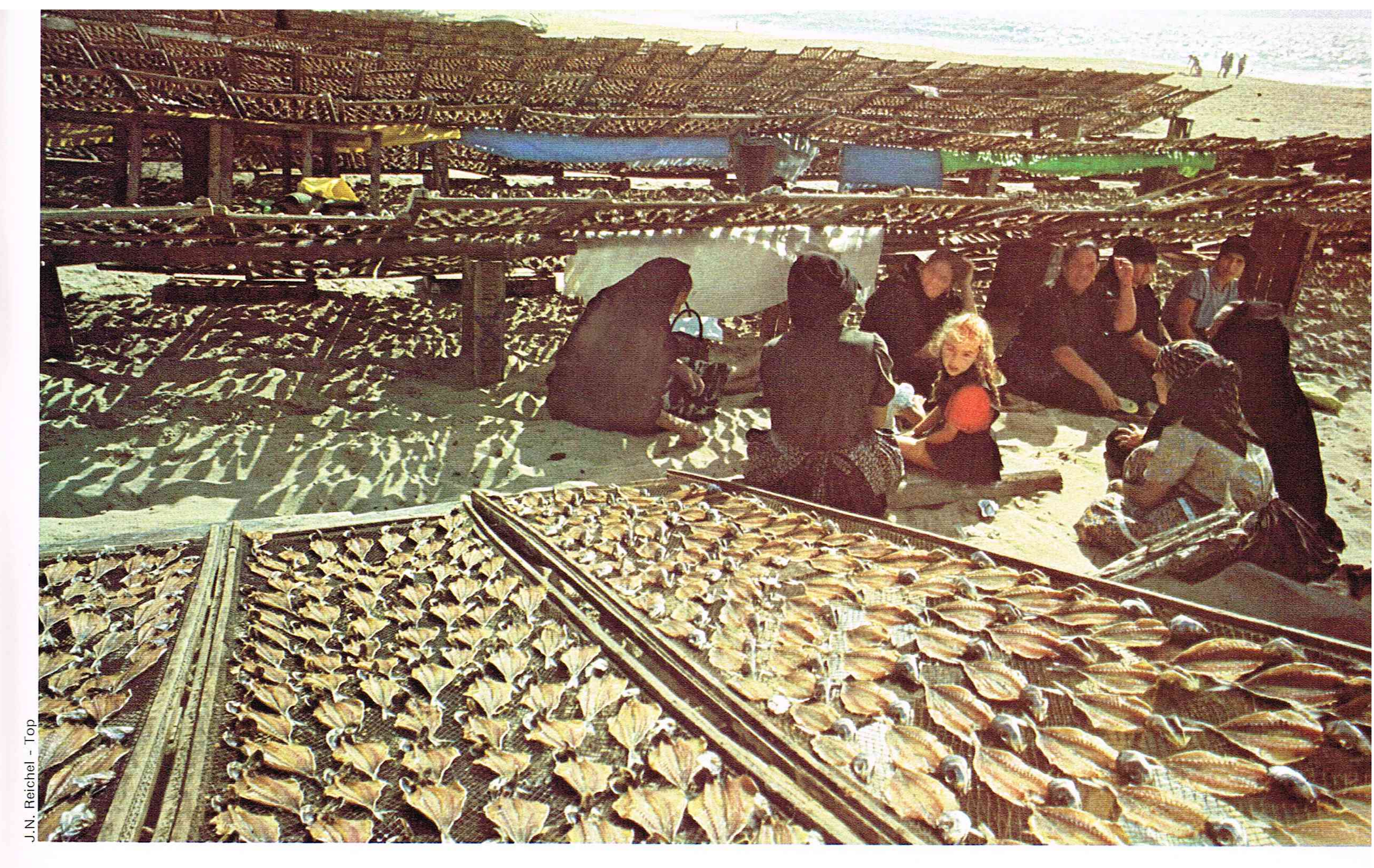
— La *lyophilisation* est une technique de déshydratation peu traumatisante pour le produit. Elle consiste à le refroidir brutalement à — 60 °C, puis à sublimer sous vide la glace formée. C'est une technique chère qui ne s'applique qu'à certains aliments de luxe (café soluble) pouvant être traités en couches minces.

— Les *micro-ondes* offrent une nouvelle approche de la déshydratation. Elles permettent un dégagement très rapide de chaleur dans toute la masse du produit. Il n'y a pas de gradient de température (le réchauffement ne s'effectue pas de la périphérie vers l'intérieur comme dans les procédés traditionnels). Cette technique, qui peut être utilisée pour déshydrater les aliments, est actuellement surtout mise en œuvre pour chauffer et cuire (un poulet peut être cuit en 5 minutes). Les qualités nutritionnelles et organoleptiques des aliments cuits de cette façon sont excellentes.

D'autres techniques plus traditionnelles sont utilisées industriellement pour le séchage des produits alimentaires :

— L'*atomisation* consiste à pulvériser au sommet d'une tour une solution ou une suspension dans un courant d'air chaud. L'eau des fines gouttes est évaporée presque instantanément, la poudre sèche est recueillie à la base ; les réglages doivent être tels que les calories apportées par l'air chaud soient juste suffisantes pour évaporer l'eau sans élever la température du solide afin d'éviter d'altérer les qualités nutritionnelles et organoleptiques.

— Le séchage *Hatmaker* est également très utilisé. Il consiste à faire passer en couche mince la solution ou la suspension à évaporer sur des rouleaux chauffés ; le


J.N. Reichel - Top

▲ *Séchage du poisson au bord de la mer à Nazaré (Portugal).*

produit sec est détaché du rouleau par raclage ; il se présente alors sous forme de minces copeaux. Les procédés d'atomisation et Hatmaker sont très utilisés dans l'industrie laitière.

● On peut également **limiter ou inhiber le développement des micro-organismes** en intervenant sur la composition du produit alimentaire.

L'eau dans un aliment se présente sous deux formes, une dite libre et l'autre liée. Les proportions de chacune d'entre elles dans l'eau totale sont fonction de la nature et de la taille des molécules solubles de l'aliment. Le développement des micro-organismes est fonction de l'activité de l'eau qui mesure le degré de liberté de celle-ci :

$$\text{activité de l'eau } (a\,\omega) = \frac{\text{molécules d'eau}}{\text{molécules d'eau} + \text{molécules solubles de l'aliment}}$$

Chaque type de micro-organisme exige une valeur minimale de l'activité de l'eau au-dessous de laquelle il ne peut plus se développer. En modifiant la quantité de molécules dissoutes, on peut plus ou moins abaisser la valeur de l'activité de l'eau et entrer dans des zones où le développement des micro-organismes n'est plus possible.

Ainsi, une quantité suffisante de *sucre* pourra empêcher le développement des micro-organismes. Si le saccharose est partiellement hydrolysé en fructose et glucose, l'activité de l'eau sera abaissée (d'où une meilleure conservation), puisqu'à poids égal de sucres le nombre de molécules sera plus important dans le cas du saccharose hydrolysé que dans le cas du saccharose tel quel.

Le *sel*, qui agit lui aussi sur l'activité de l'eau, est utilisé dans la conservation des aliments.

● Un autre moyen d'éviter le développement des micro-organismes est d'agir directement sur eux au moyen de divers **composés chimiques.** Parmi la gamme très vaste des substances possibles (antibiotiques, bactériostatiques, antiseptiques...), un nombre très restreint de conservateurs est autorisé dans les aliments : l'acide sorbique et ses sels, l'acide benzoïque et ses sels, les esters propyliques et éthyliques de l'acide parahydroxybenzoïque, les nitrites et nitrates, l'anhydride sulfureux et ses sels. Chacun de ces conservateurs a un spectre d'action microbienne spécifique. Par exemple, les dérivés de l'anhydride sulfureux agissent plus efficacement sur les moisissures et les bactéries que sur les levures.

Le Service des fraudes en France s'est toujours efforcé de limiter le plus possible l'utilisation des conservateurs chimiques antimicrobiens en alimentation, et cela bien avant que les consommateurs remettent en cause les additifs en général. Cette politique a pour but de favoriser les mesures d'hygiène en industrie alimentaire.

## *Modifications des aliments ayant des causes chimiques*

Compte tenu de la complexité de la composition des aliments, le nombre de réactions chimiques possibles entre les différents constituants est relativement grand. Ces réactions, qui se déroulent précisément au cours de la conservation des aliments, sont très rapides pendant leur fabrication, notamment lorsque celle-ci comporte des traitements thermiques.

● Pendant la conservation, les réactions qui compromettent le plus les qualités organoleptiques des aliments sont les **réactions d'oxydation.** Elles sont en particulier responsables des changements de couleur et de saveur. Le beurre exposé à l'air et à la lumière s'oxyde. Il devient blanc à la suite de la destruction par oxydation des pigments caroténoïdiques qui le colorent naturellement en jaune. Sa saveur devient désagréable (goût de suif) du fait de la nature des divers composés résultant de la scission des glycérides oxydés.

Sans entrer dans le détail du mécanisme de l'oxydation, on peut écrire que celui-ci comprend trois phases principales :

— Une *phase d'initiation* au cours de laquelle se forment, à partir des molécules oxydables, comme en particulier les acides gras insaturés, des radicaux libres particulièrement réactifs. Cette formation est catalysée par la chaleur, les rayons ultraviolets et les traces de métaux comme le cuivre, le fer.

Si l'on symbolise par RH une molécule organique possédant un hydrogène mobile (H), la réaction s'écrira :

$$RH \xrightarrow[\text{UV, traces métalliques}]{\text{chaleur}} R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

La molécule RH donnera dans cette phase d'initiation le radical $R^{\bullet}$.

— Une *phase de propagation :* au cours de cette phase, les molécules d'oxygène se fixent sur les radicaux très réactifs R• pour donner des radicaux hydroperoxydes (ROO•)

$$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow ROO^{\bullet}$$

Ces radicaux réagissent avec les molécules RH pour donner des hydroperoxydes ROOH et des radicaux R• qui réagissent à leur tour sur des molécules d'oxygène, et, de proche en proche, les molécules RH se transforment en hydroperoxydes.

A ce stade du processus d'oxydation, il n'y a pas encore de modification sensible des qualités organoleptiques du produit. Seul le chimiste est à même de montrer que le produit est en voie de dégradation.

— Une *phase terminale* au cours de laquelle les radicaux formés réagissent deux à deux en se neutralisant réciproquement. Mais surtout, et c'est le point le plus important sur le plan organoleptique, les hydroperoxydes se décomposent en donnant naissance à des composés divers responsables de la saveur fort déplaisante des produits oxydés.

Il faut bien distinguer cette altération, qui est la rancidité oxydative, d'une autre plus généralisée, qui est la rancidité hydrolytique. Dans le cas du beurre, par exemple, cette dernière est due à l'action d'enzymes microbiennes qui hydrolysent les glycérides et libèrent les acides gras. Plus ceux-ci ont des chaînes courtes, plus leur arôme est important.

L'acide butyrique, acide gras caractéristique du beurre, formé d'une chaîne hydrocarbonée très courte (6 atomes de carbone), a un arôme très prononcé. A l'inverse, l'acide stéarique (18 atomes de carbone) a peu d'effet organoleptique.

Lorsque de très petites quantités d'acide butyrique sont libérées par l'action des enzymes (lipases), le beurre prend un goût de rance désagréable. Ce défaut apparaît très vite avec les beurres fermiers préparés sans précautions hygiéniques particulières et conservés à la température ordinaire. Les micro-organismes se développent, et leurs enzymes libèrent l'acide butyrique. Le beurre préparé dans de bonnes conditions, mieux encore s'il est pasteurisé et conservé au froid, aura peu de chances de rancir, puisque les germes microbiens seront faibles au départ et qu'ils ne trouveront pas les conditions physiques de leur développement.

La rancidité hydrolytique est un phénomène qui se développe dans la masse du produit si celui-ci n'a pas été préparé proprement, ou, dans le cas contraire, en surface à la suite d'une contamination microbienne postérieure à la fabrication. La rancidité oxydative se développe toujours en surface, là où le contact est possible entre le produit et l'oxygène de l'air. Les rancidités oxydatives et hydrolytiques ont des conséquences organoleptiques semblables ; le goût est désagréable dans les deux cas. Leurs conséquences nutritionnelles sont différentes. Dans le cas de la rancidité hydrolytique, il n'y a pas d'altération des acides gras qui se sont détachés de la molécule des glycérides tout en gardant leur intégrité. Cette scission de la molécule des glycérides se produit d'ailleurs au cours de la digestion des lipides.

Par contre, dans la rancidité oxydative, les modifications sont très profondes, puisque les molécules sont détruites. Sur le plan nutritionnel, cela présente deux inconvénients, d'une part, l'oxydation pourra provoquer une carence en acide gras essentiel (acide linoléique) ; d'autre part, les petites molécules résultant de la dégradation des molécules oxydées peuvent présenter une certaine toxicité.

Comment éviter l'oxydation des constituants des produits alimentaires ? Tout d'abord en évitant de détruire ou d'éliminer au cours des processus technologiques les substances antioxygènes contenues naturellement dans les aliments et qui les protègent (voir *Le raffinage des matières grasses*). Ensuite en isolant les produits finis de l'environnement extérieur, c'est-à-dire en les plaçant à basse température, à l'abri de l'air et de la lumière. Ces deux dernières conditions peuvent être satisfaites grâce à des emballages judicieusement choisis.

Enfin, il est possible d'ajouter certaines substances antioxygène d'origine synthétique ou naturelle. Celles qui sont autorisées par la réglementation sont en nombre limité comme les conservateurs antimicrobiens. On peut citer l'acide ascorbique (vitamine C), les tocophérols (vitamine E), les gallates, le BHT (butylhydrotoluène) et le BHA (butylhydroxyanisol), et l'anhydride sulfureux. Ce dernier est également un conservateur antimicrobien.

Comme les molécules oxydables, les molécules d'antioxygène donnent naissance, dans la phase d'initiation, à des radicaux. Ces radicaux étant très stables, il n'y a pas de propagation. Les préparations commerciales d'antioxygènes renferment plusieurs additifs. En général, on utilise 2 ou 3 antioxygènes qui sont accompagnés d'un acide qui en augmente l'efficacité. De plus, un additif complexe les traces métalliques qui catalysent l'oxydation. Enfin, un émulsifiant permet de disperser les antioxygènes dans le produit alimentaire.

## *Modifications des aliments ayant des causes physiques*

Ces modifications sont très variées.

● La **cristallisation** du dextrose dans le miel ; du saccharose dans les confitures, les sirops, les confiseries ; de l'amidon dans le pain. (La composante physique du rassissement du pain est la pseudo-cristallisation des molécules d'amidon.)

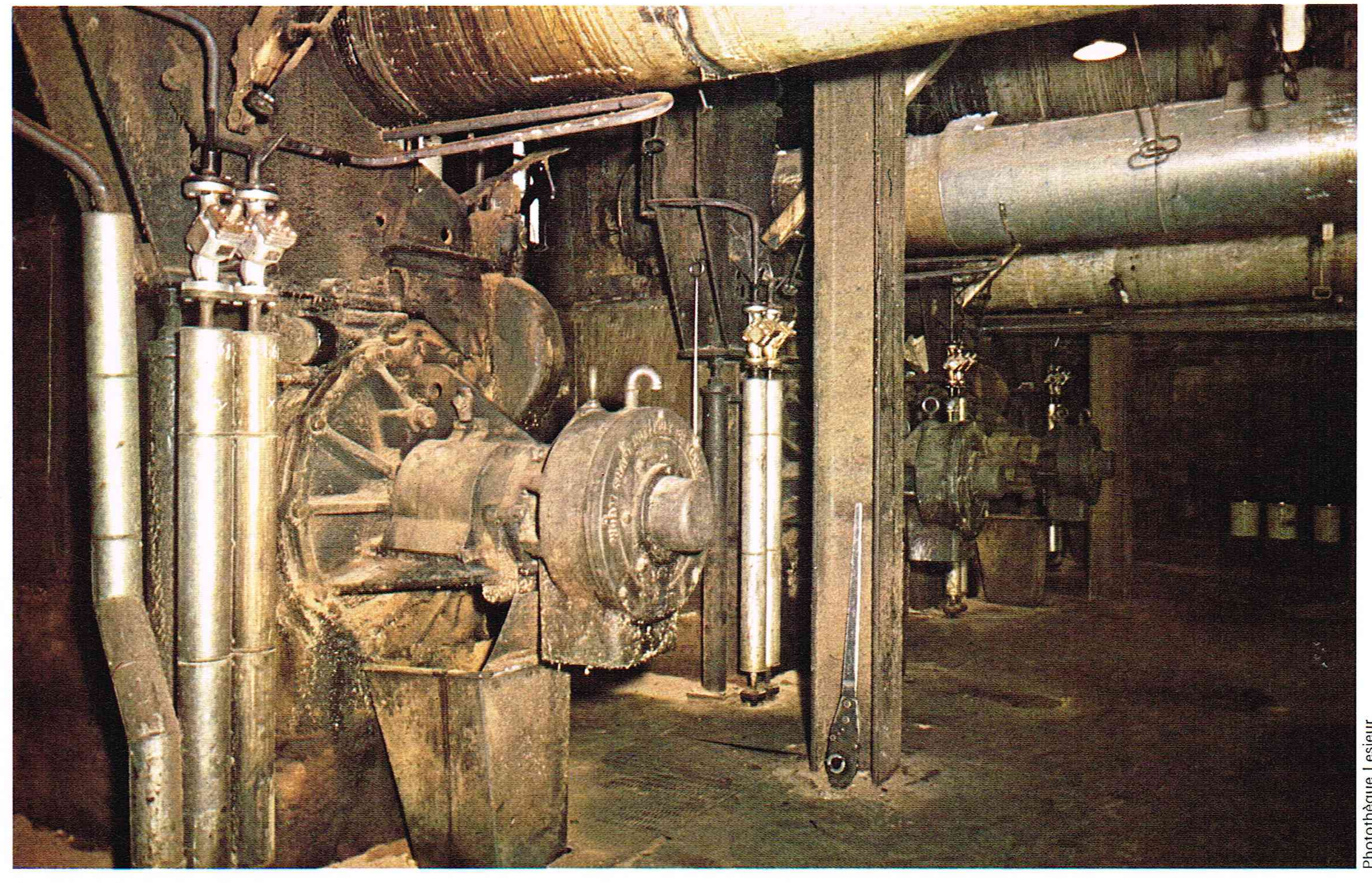
● Le **polymorphisme** des glycérides est responsable des défauts quelquefois observés lors de la conservation des produits de chocolaterie, comme le blanchiment gras, et de problèmes divers dans l'industrie des matières grasses.

● Les séparations de phases peuvent apparaître dans les émulsions.

● Les **sorptions et désorptions** d'eau jouent un rôle très important dans la conservation des aliments. Entre un produit alimentaire et l'atmosphère qui l'entoure, il y a des échanges d'eau qui aboutissent suivant les cas soit à une dessiccation, soit à une réhydratation du produit. C'est évidemment l'eau libre (définie dans le paragraphe *Modifications ayant des causes biologiques*) qui s'échange et qui, en définitive, détermine la valeur de l'humidité relative d'équilibre (HRE). L'air contient une certaine quantité de vapeur d'eau qui est mesurée par une humidité relative (HR), c'est-à-dire le rapport existant, à une température donnée, entre la quantité d'eau présente et la quantité maximale (vapeur d'eau saturante) possible à cette température. L'HRE d'un aliment correspond à la valeur de l'HR de l'atmosphère dans laquelle il se trouve et avec laquelle il est en équilibre (c'est-à-dire qu'il ne perd ni ne gagne d'eau). En pratique, pour la déterminer, différents échantillons de l'aliment sont placés dans des atmosphères à HR variées ; pesés périodiquement, certains des échantillons vont prendre du poids, d'autres vont en perdre. Un des échantillons gardera un poids stable ; la valeur de l'HR de l'atmosphère dans laquelle il se trouvait déterminera la valeur de son HRE.

Il est possible de jouer sur l'HRE d'un aliment en modifiant sa composition. Si on souhaite éviter qu'un produit ne se dessèche, par exemple de la pâte d'amandes, on peut remplacer une partie du saccharose par du sucre inverti qui, en doublant le nombre de molécules pour un même poids, diminue l'eau libre. Certains additifs comme la *glycérine* ou le *sorbitol* permettent d'éviter le dessèchement.

Ces sorptions et désorptions d'eau peuvent avoir diverses conséquences sur la conservation en provoquant des modifications non seulement physiques mais également chimiques et biologiques. Un des nombreux problèmes de la technologie alimentaire est de faire coexister des composés hydrophiles et hydrophobes dans des structures artificielles équilibrées. Les matières grasses (hydrophobes) ont très peu d'affinité pour les sucres et toutes les matières hydrophiles en général. Il faudra donc procéder à des dispersions, émulsions et stabiliser ces systèmes de façon à éviter leur évolution au cours de la conservation. C'est là qu'intervient un très important groupe d'additifs, les *tensio-actifs* (émulsifiants), parmi lesquels la lécithine, émulsifiant naturel, et les monoglycérides et microglycérides. Ces composés permettent de créer des structures dispersées, mais ils doivent être aidés dans certains cas pour la conservation de cette structure par un autre groupe important d'additifs, les gélifiants épaississants, qui, en augmentant la viscosité des milieux, les stabilisent. Ce sont principalement des gommes, des alginates, des pectines, des dextrines.



Photothèque Lesieur

▲ ***Les graisses et huiles végétales peuvent être obtenues par pression continue des graines.***

## L'INDUSTRIE DES CORPS GRAS

L'industrie des corps gras, que nous prenons ici comme exemple d'industrie alimentaire, est intéressante à étudier dans la mesure où elle constitue une sorte de carrefour pour plusieurs technologies : celle de l'industrie agricole, quand elle se contente d'extraire les huiles et graisses des produits naturels qui les contiennent; celle de l'industrie alimentaire, quand elle élabore des produits composites comme la margarine; celle enfin de l'industrie chimique, quand elle modifie, transforme, la nature des corps gras.

Si les glucides et les protéines font l'objet de diverses transformations et modifications, celles-ci sont certainement chimiquement les plus profondes et économiquement les plus généralisées au niveau des corps gras.

Les graisses animales sont obtenues par fonte des tissus adipeux, qui est effectuée soit à la vapeur, soit à sec et, pour éviter l'apparition de couleurs, d'odeurs indésirables, à des températures ne dépassant pas 80 °C. Les huiles de poissons sont extraites des poissons broyés cuits et pressés à chaud. Le tourteau est utilisé en alimentation animale comme source de protéines.

Les graisses et huiles végétales peuvent être obtenues par pression ou par solvants à partir des graines oléagineuses (*fig.* 12 et 13).

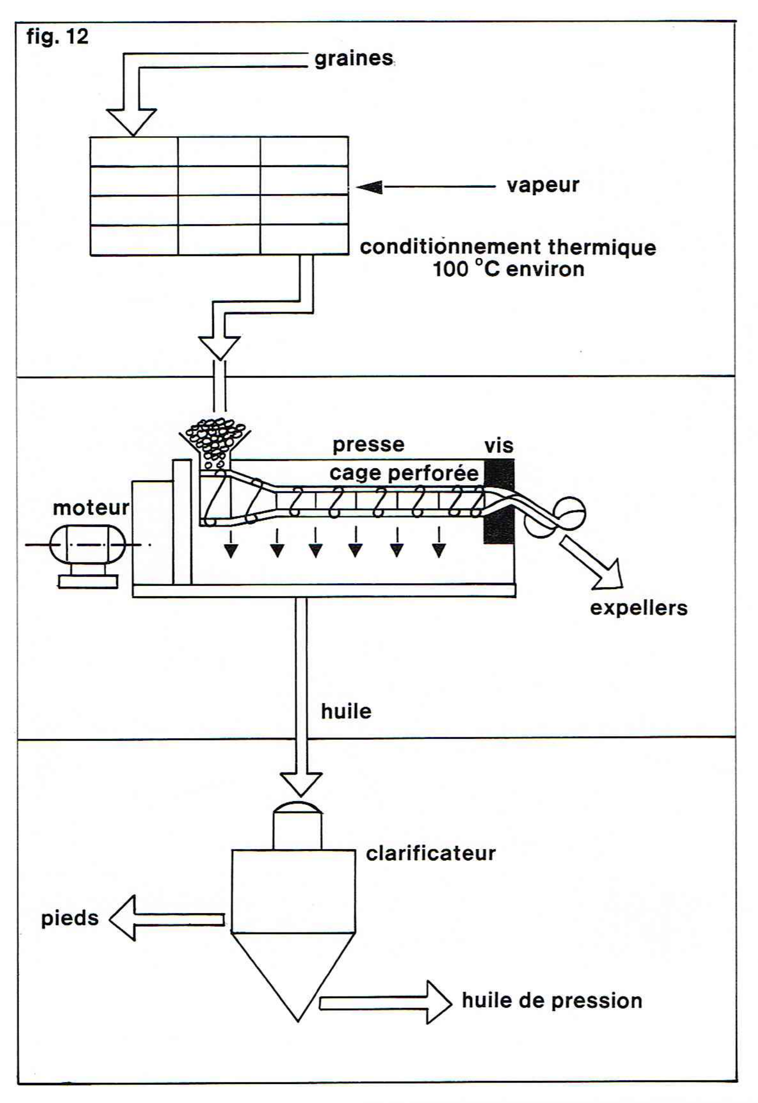
Les différentes matières grasses peuvent subir deux grands types de traitements : les traitements de raffinage, et les traitements entraînant des modifications plus ou moins profondes des matières grasses.

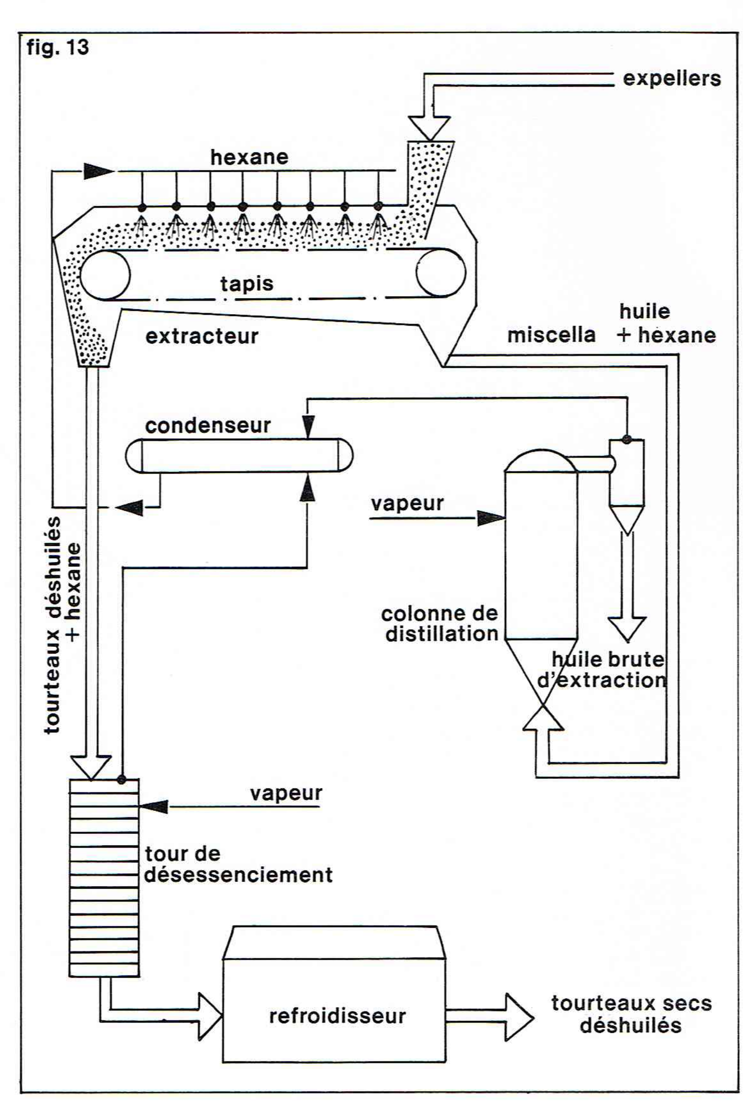
### *Le « raffinage »*

Raffiner signifie rendre plus fin, plus pur. Raffiner du sucre, c'est tenter d'obtenir la molécule de saccharose à l'état pur. Les industriels ont d'ailleurs parfaitement réussi dans cette voie, puisqu'ils peuvent aujourd'hui proposer aux consommateurs du sucre commercial renfermant plus de 99,7 % de saccharose, c'est-à-dire une pureté que l'on n'atteint généralement que pour les produits traités pour analyse. Cette pureté n'a pu être obtenue que grâce à l'évolution rapide de la technologie sucrière qui a atteint un des niveaux les plus élevés du domaine agro-alimentaire.

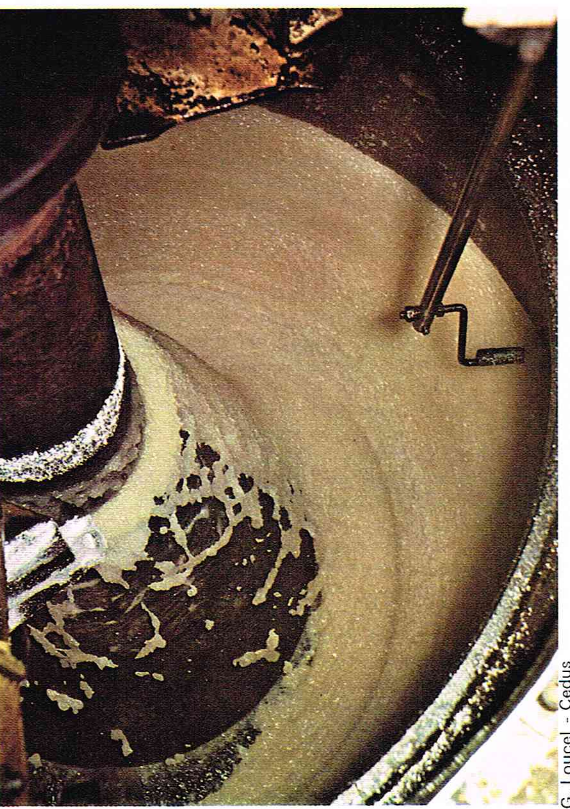
Si l'on comprend l'intérêt commercial d'une telle pureté — constante de la qualité, blancheur, cristallisation, solubilité, neutralité gustative, valeur ajoutée plus importante (celle-ci étant liée au niveau technologie) —, on saisit peut-être moins bien son intérêt nutritionnel. N'élimine-t-on pas ainsi certains composés mineurs sur le plan quantitatif mais présentant une certaine valeur biologique, et accompagnant naturellement le saccharose dans la canne et même la betterave ? Certains le pensent, qui proposent à des fins diététiques des sucres roux, c'est-à-dire non raffinés (à des prix quelquefois plus élevés que le sucre raffiné).

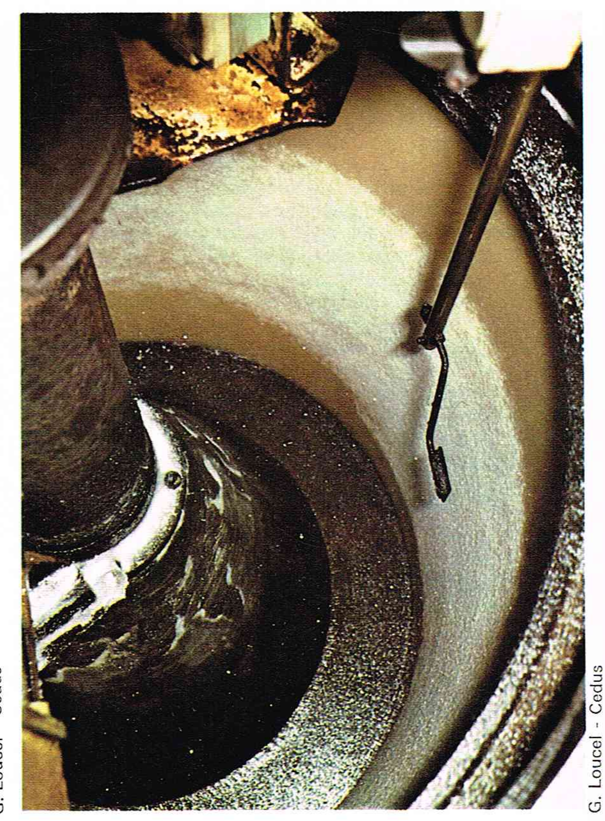
Sur le plan de l'utilisation industrielle, la qualité chimique du sucre est par contre très importante, car les composés mineurs, jouant alors le rôle d'impuretés, peuvent intervenir sur la couleur, le goût, etc., des produits finis. Un sucre cuit (bonbon anglais) ou un sirop doivent être fabriqués avec un sucre suffisamment pur. Pour le premier, des couleurs et arômes indésirables qui sont le fait des impuretés peuvent se développer au cours des traitements thermiques que comprend le processus de fabrication des produits de confiserie. Dans les deux cas, confiserie et sirops, les impuretés peuvent compromettre les effets de l'arôme et des colorants ajoutés à ces produits. Dans d'autres cas, la pureté du sucre a beaucoup moins d'importance : il est en effet secondaire d'utiliser, par exemple pour la chocolaterie, un sucre très blanc. Toutefois, force est de constater qu'il n'existe maintenant sur le marché que des sucres de qualité supérieure, fruits d'une technologie avancée, diront les sucriers, mais ayant aussi, par voie de conséquence, la valeur ajoutée la plus forte. L'industriel utilisateur n'a en fait plus la possibilité de choisir la qualité de sucre correspondant à ses besoins. Il est pratiquement contraint de prendre la qualité supérieure, même si celle-ci ne lui est pas nécessaire.




▲ *Figure 12 : schéma de principe de la pression des graines, opération aboutissant à l'obtention d'huile brute limpide (d'après document Lesieur). Figure 13 : schéma de principe de l'extraction de l'huile à partir du tourteau (résidu de la graine après pression) [d'après document Lesieur].*


G. Loucel - Cedus


G. Loucel - Cedus

▶ *De gauche à droite, respectivement, trois étapes successives du turbinage du sucre, opération qui consiste à séparer les cristaux de sucre des impuretés qui donnent à la masse cuite sa coloration brune ; le sucre obtenu est très blanc et très pur, c'est le sucre cristallisé qui contient plus de 99,7 % de saccharose.*

Dans le cas des matières grasses, le raffinage a également deux finalités : l'une concerne la qualité des matières grasses et, plus particulièrement, des huiles consommées en l'état, l'autre la pureté nécessaire aux opérations de modification profonde comme l'hydrogénation et la transestérification. Dans le premier cas, les différentes opérations de raffinage — neutralisation, décoloration, démucilagination, désodorisation (*fig.* 14) — ont pour but de modifier les caractères organoleptiques de l'huile brute telle qu'elle est obtenue après extraction par pression ou par solvant.

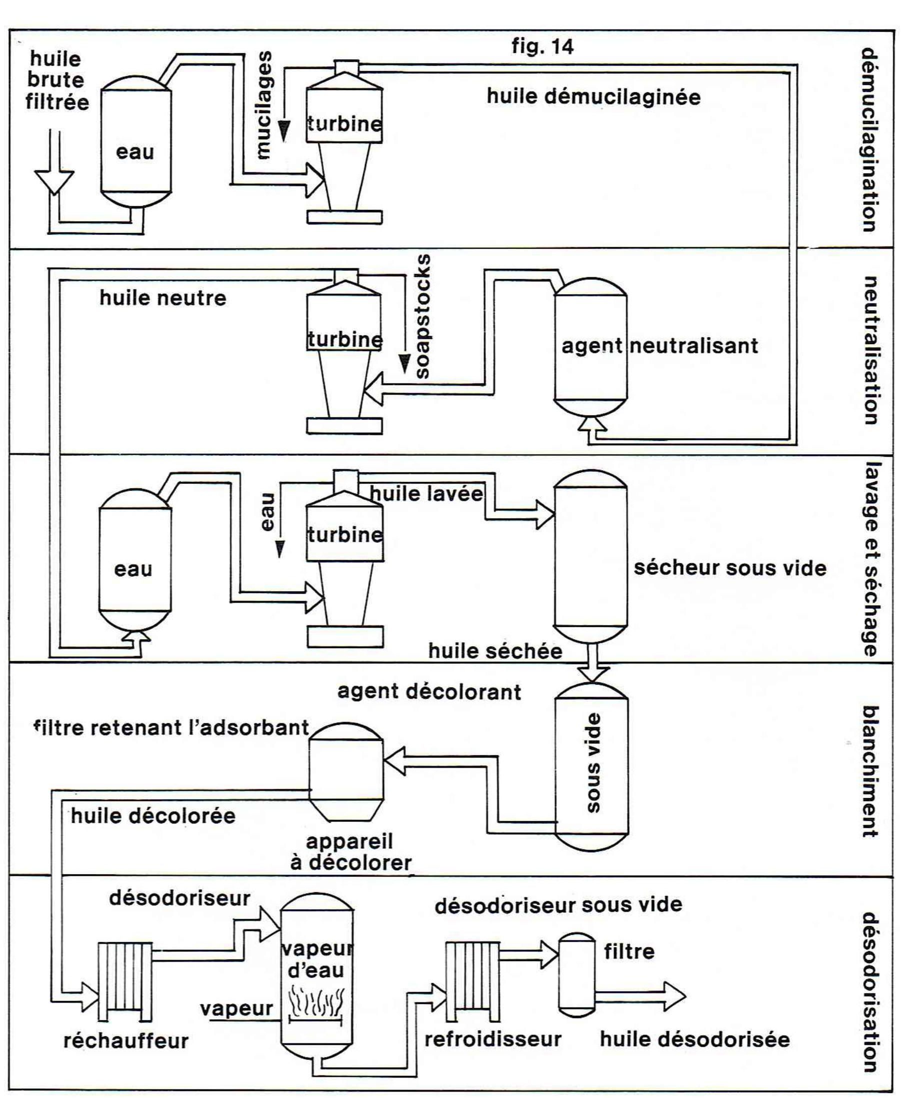
Avant d'aborder les différentes phases du raffinage et d'examiner leur intérêt, il faut noter que *ce traitement est d'autant plus nécessaire que l'huile est de plus mauvaise qualité*.

En particulier, si les graines oléagineuses sont stockées dans des conditions défavorables, une fermentation peut se développer et être à l'origine d'une teneur élevée en acides gras (libérés à partir des glycérides grâce à des lipases microbiennes), d'odeurs et de couleurs anormales, qu'il faudra éliminer ou réduire.

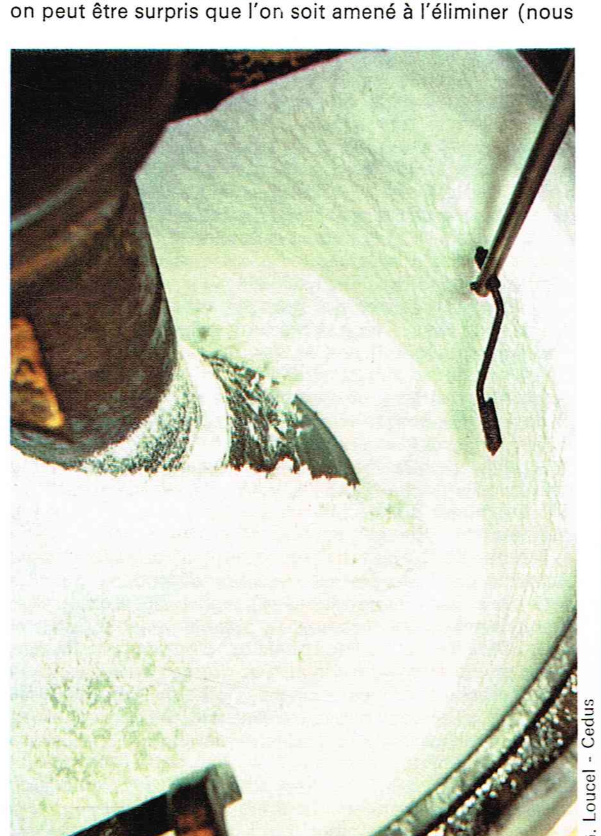
Les graisses de bonne qualité provenant de graines saines peuvent aussi subir les opérations de désodorisation et de décoloration, bien qu'elles présentent des odeurs et des couleurs *sui generis*, non désagréables et même quelquefois plaisantes, cela dans un dessein de standardisation, les produits alimentaires devant présenter toujours les mêmes caractéristiques. La couleur naturelle orange des huiles de palme varie dans des limites assez larges. Cette coloration due à des caroténoïdes est utilisée en margarinerie pour donner aux produits finis leur teinte ; la constance de celle-ci ne peut être maintenue que par le jeu de décolorations partielles et de mélanges judicieux.

Le traitement peut être effectué pour obtenir une *neutralité organoleptique* de la matière grasse. Ainsi, le beurre de cacao non raffiné présente une odeur agréable et une couleur jaune paille. Celle-ci n'a aucun inconvénient dans le cas de l'utilisation de beurre de cacao dans le chocolat, la coloration de ce dernier n'étant pratiquement pas influencée par la teinte pastel du beurre de cacao ajouté. Par contre, il n'en est pas de même avec les confiseries au beurre de cacao du type chocolat blanc, où les colorations synthétiques, vert, rouge, bleu, que l'on donne à ces produits peuvent être modifiées.

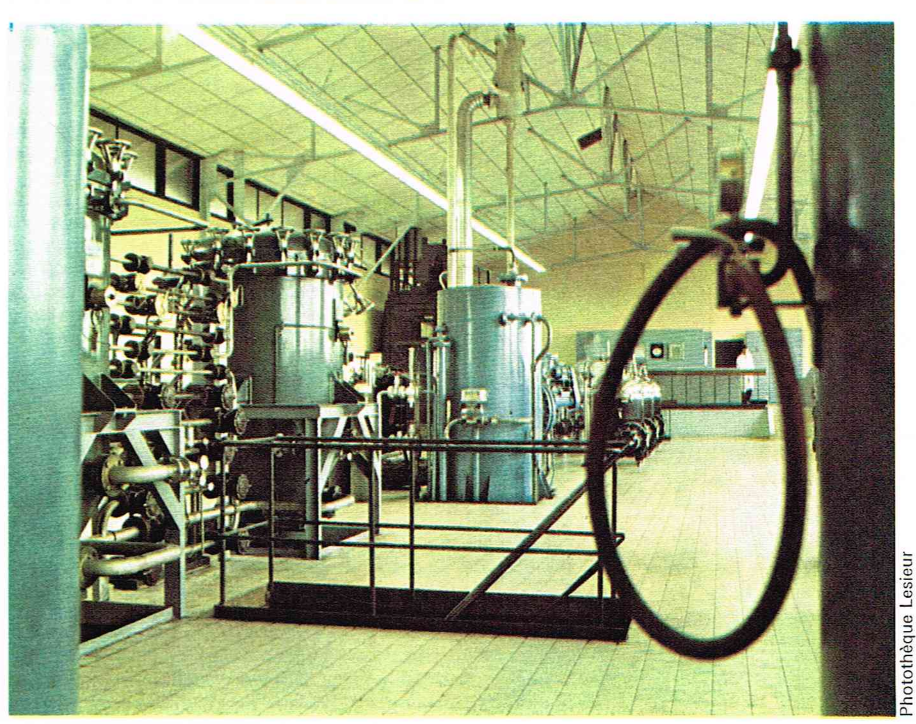
En ce qui concerne l'arôme naturel du beurre de cacao, on peut être surpris que l'on soit amené à l'éliminer (nous

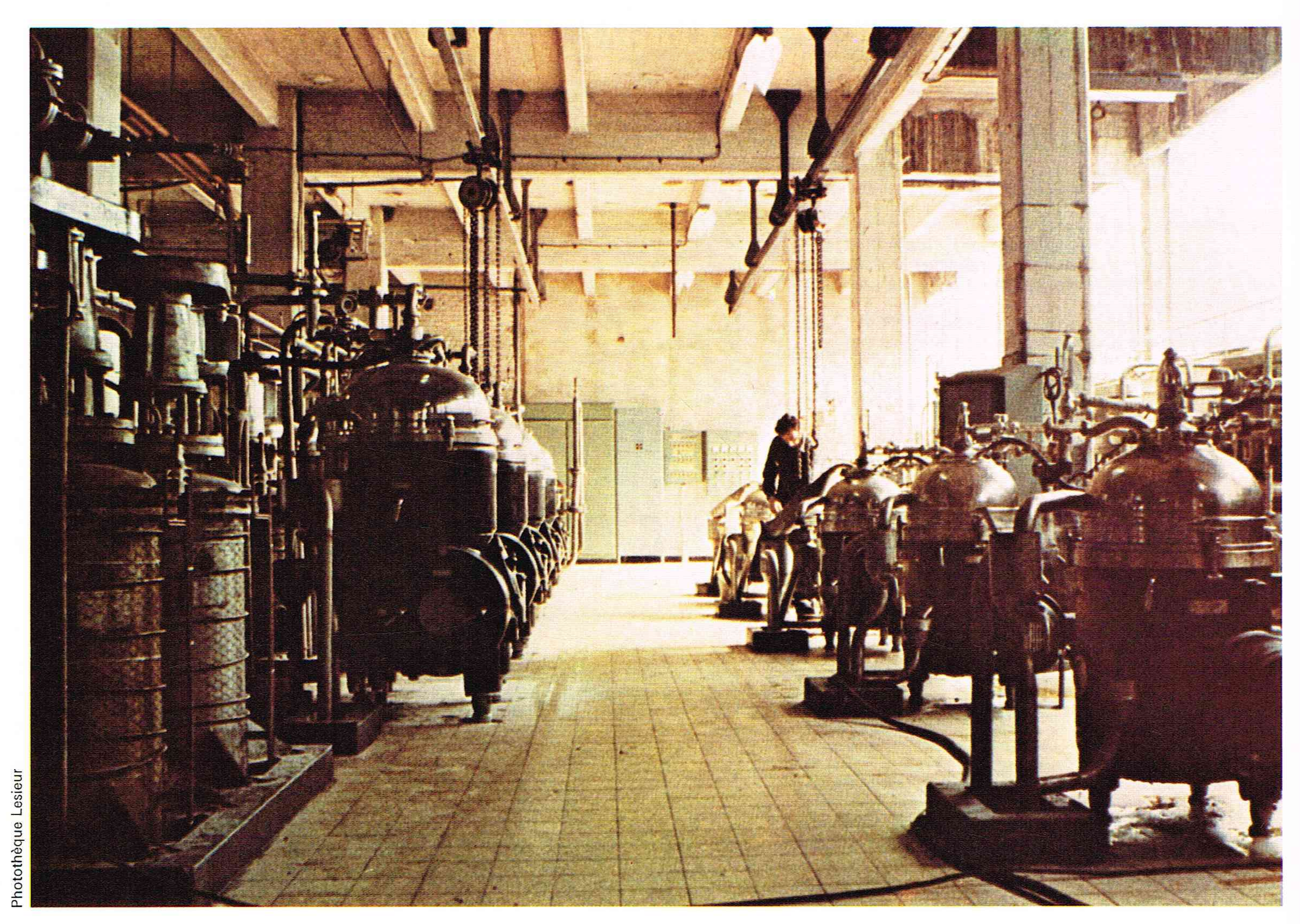



▲ *Figure 14 : schéma de principe des différentes opérations de raffinage des huiles végétales (d'après document Lesieur).*


G. Loucel - Cedus

▼ *Atelier de filtration des huiles végétales.*


Photothèque Lesieur


Photothèque Lesieur

▲ *Hall de raffinage des huiles végétales; les centrifugeuses visibles sur cette photo servent à éliminer les substances insolubilisées au cours du raffinage.*

sommes toujours placés ici dans le cas de matières grasses obtenues à partir de graines oléagineuses non altérées) en chocolaterie. Il faut savoir que le chocolat est constitué de sucre, de pâte de cacao (fèves de cacao broyées) et de beurre de cacao, et que les fèves utilisées pour la fabrication de la pâte ne sont pas les mêmes que celles dont on extrait le beurre de cacao. Le chocolatier fait un mélange subtil de fèves de différentes origines, mélange qui lui permet d'obtenir après torréfaction un arôme particulier. Il est bien évident que si, à cette composition, il ajoute un beurre de cacao non désodorisé, l'arôme de ce beurre, aussi agréable soit-il, compromettra celui savamment élaboré par le chocolatier. Le beurre de cacao n'est généralement pas fabriqué par les chocolatiers mais par des industries spécialisées. Les fèves utilisées pour sa préparation sont des fèves de qualité courante (Cameroun, Côte-d'Ivoire), alors qu'interviennent dans la composition des bons chocolats des fèves originaires d'Amérique du Sud.

### Neutralisation

L'acidité des graisses et huiles doit rester dans certaines limites fixées pour chacune d'entre elles. Lorsque ces limites sont dépassées, les matières grasses font l'objet d'un traitement de neutralisation ou de désacidification. Cette acidité peut être gênante à la fois sur le plan organoleptique et sur le plan technologique dans le cas où la graisse subit des traitements de modification.

Les matières grasses, après extraction, sont analysées en vue de déterminer la quantité d'acides gras libres qu'elles contiennent. Les résultats d'analyse permettent de déterminer avec précision la quantité d'hydroxyde de sodium ou de potassium nécessaire pour neutraliser l'acidité excédentaire, c'est-à-dire la quantité d'acides gras située au-delà de la limite supérieure admise. Ainsi donc, la neutralisation peut n'être que partielle.

Les savons formés (sels de sodium ou de potassium d'acides gras), hydrosolubles, passent dans la phase aqueuse, laquelle est éliminée ensuite par centrifugation. Cette opération de neutralisation présente certains inconvénients. Tout d'abord, les hydroxydes de sodium ou de potassium peuvent provoquer une légère saponification des glycérides eux-mêmes, ce qui entraîne une perte en matière grasse. Cette perte peut être aggravée par l'entraînement d'une partie de celle-ci au cours de la séparation de la phase aqueuse. Les acides gras peuvent être ensuite récupérés à partir des savons et utilisés pour effectuer la synthèse de glycérides.

L'élimination des acides gras des matières grasses par distillation sous pression réduite s'effectue avec un meilleur rendement (pas de pertes en matières grasses) et permet une récupération directe des acides gras pour les synthèses. Cette méthode commence à remplacer la technique de neutralisation, qui conserve malgré tout certains avantages. Elle permet d'éliminer une partie des phospholipides, jouant alors le rôle d'une prédémucilagination. Mais surtout, elle permet de détoxifier les huiles renfermant des *aflatoxines*. On sait en effet que le cycle lactone des aflatoxines est ouvert en milieu alcalin. L'apparition du groupement acide rend la molécule polaire et permet son élimination dans la phase aqueuse contenant les savons. Bien entendu, le traitement alcalin des matières grasses n'a pas été conçu à l'origine pour détoxifier les huiles, et cela est d'autant plus évident que l'on neutralisait les matières grasses bien avant de soupçonner l'existence même des aflatoxines. Mais il se trouve *a posteriori* que ce traitement est un excellent moyen de détoxifier les huiles contaminées.

### Décoloration

Les colorants naturels, caroténoïdes, chlorophylles, qui se trouvent normalement dans les matières grasses,

ainsi que les composés colorés qui apparaissent dans les graisses altérées à la suite de réactions biochimiques catalysées par des enzymes, peuvent être fixés par des absorbants divers (charbons activés, etc.).

Cette opération présente parfois quelques inconvénients, dans les cas où les matières grasses contiennent des hydroperoxydes. En effet, à partir de ces composés peuvent se former des *triènes conjugués* dont l'innocuité est généralement mise en doute.

La décoloration des matières grasses comestibles n'est pas autorisée par voie chimique.

#### *Désodorisation*

Elle se fait par entraînement à la vapeur des substances aromatiques. Pour éviter d'altérer la matière grasse au cours de cette opération, il est nécessaire de travailler en l'absence d'oxygène et d'opérer très vite.

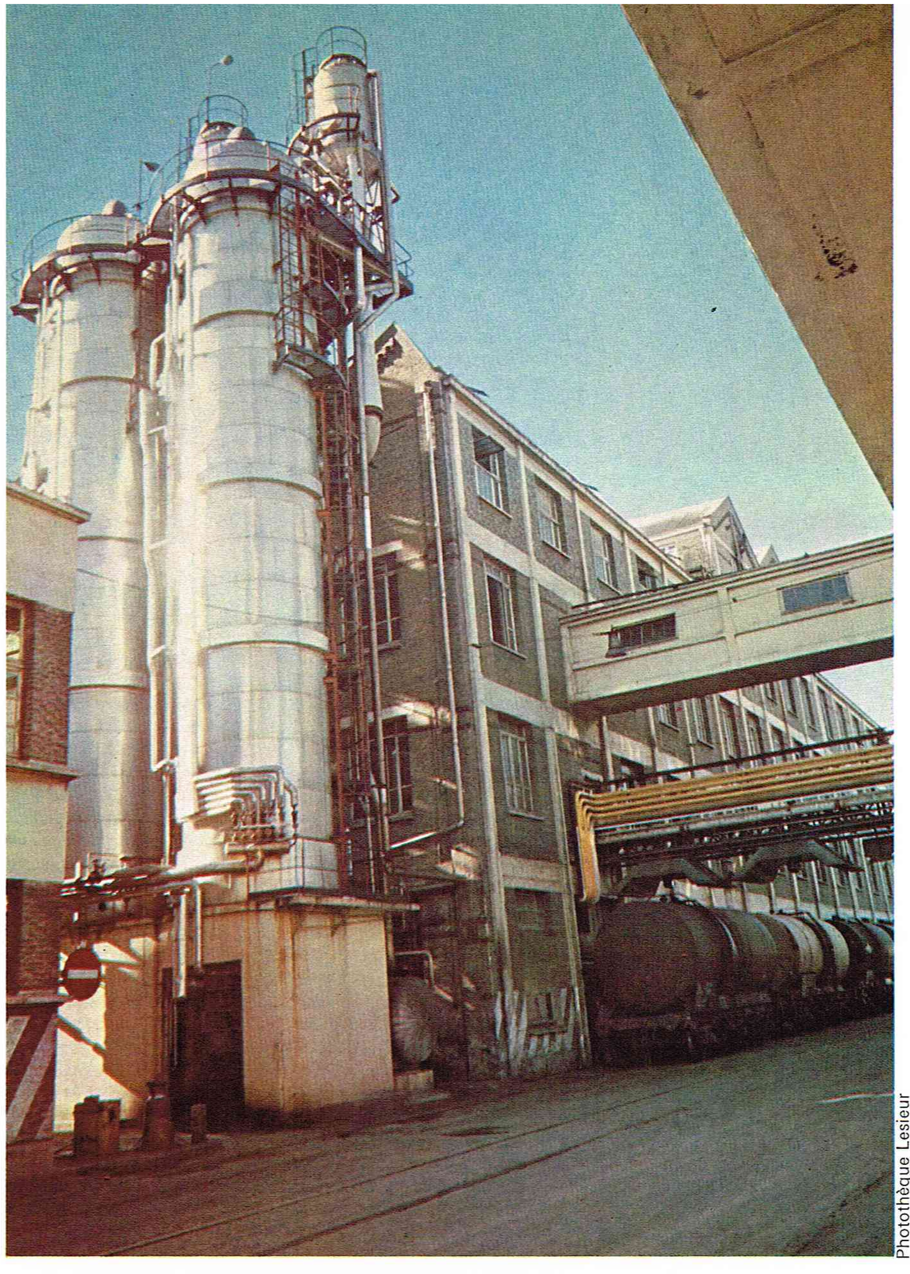
En pratique, cette phase du raffinage est effectuée en continu à température relativement élevée (140 à 150 °C) sous pression réduite (4 à 5 mm de Hg) avec de la vapeur d'eau débarrassée d'oxygène. Malgré ces précautions, on observe au cours de la désodorisation une perte sensible en tocophérols.

#### *Démucilagination*

Cette opération a pour but d'éliminer, principalement, les phospholipides contenus dans la matière grasse, ainsi que, secondairement, des substances hydrophiles de structure polysaccharidique comme les gommes. Ces substances s'insolubilisent par fixation d'eau et ont tendance à floculer au sein des huiles, entraînant des troubles généralement peu appréciés des consommateurs.

Ce phénomène, qui se produit lentement au cours de la conservation, est en fait provoqué et accéléré au cours du traitement de démucilagination qui consiste à insolubiliser par la vapeur d'eau les phospholipides et autres substances, puis à les séparer de la matière grasse par centrifugation. On observe également, au cours de cette phase du raffinage, une perte en matière grasses, celles-ci étant entraînées avec la fraction riche en phospholipides.

Les matières grasses destinées à être hydrogénées doivent impérativement subir le traitement de démucilagination, les phospholipides représentant de véritables poisons des catalyseurs d'hydrogénation (les pores de ceux-ci étant bouchés par les phosphatides).



Photothèque Lesieur

▲ ***Dans un dessein de standardisation (les produits alimentaires devant toujours présenter les mêmes caractéristiques), les huiles doivent subir une opération de désodorisation qui s'effectue à 150 °C et sous pression réduite dans des colonnes de désodorisation.***

### *Les traitements de modification des matières grasses*

Les opérations de raffinage qui viennent d'être examinées peuvent être considérées comme des opérations de « purification », avec les réserves qui ont été faites précédemment. Elles ne modifient en rien la composition de la fraction glycéridique de la graisse, c'est-à-dire de sa fraction principale. Une graisse raffinée se voit débarrassée de divers composés accompagnant les glycérides mais reste fondamentalement inchangée. En revanche, les modifications qui vont maintenant être étudiées sont telles, dans certains cas, qu'il n'est plus possible de reconnaître la matière grasse d'origine.

Le chimiste, dans ce domaine, a des possibilités pratiquement illimitées. Il peut fabriquer de nombreux corps gras répondant à des caractéristiques précises nées d'un besoin technologique ou imiter très précisément la nature en reproduisant une matière grasse existante.

Bien entendu, ces modifications fondamentales sont faites dans le dessein de se libérer des contraintes économiques qui pèsent sur ce secteur de l'industrie alimentaire. Les coûts (graines oléagineuses) des matières premières présentent de grandes variations. Des facteurs climatiques, agronomiques, sociologiques, politiques, difficilement prévisibles, en particulier dans les pays en voie de développement, créent un marché extrêmement aléatoire.

Les matières premières qui peuvent être utilisées dans l'industrie des corps gras sont relativement nombreuses : graisses végétales, tissus animaux, y compris ceux de poissons. Toutes ces matières grasses présentent des compositions très variées. Leurs disponibilités en quantités ainsi que leurs prix sont extrêmement fluctuants, alors que les demandes en produits finis sont relativement bien formulées tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif. Elles concernent principalement les margarines et les matières grasses destinées aux industries utilisatrices (comme la biscuiterie, la confiserie, la chocolaterie), aux huiles de friture et de table, etc. Tous ces produits ont des caractéristiques définies qui doivent demeurer constantes. Leurs prix doivent rester aussi stables que possible.

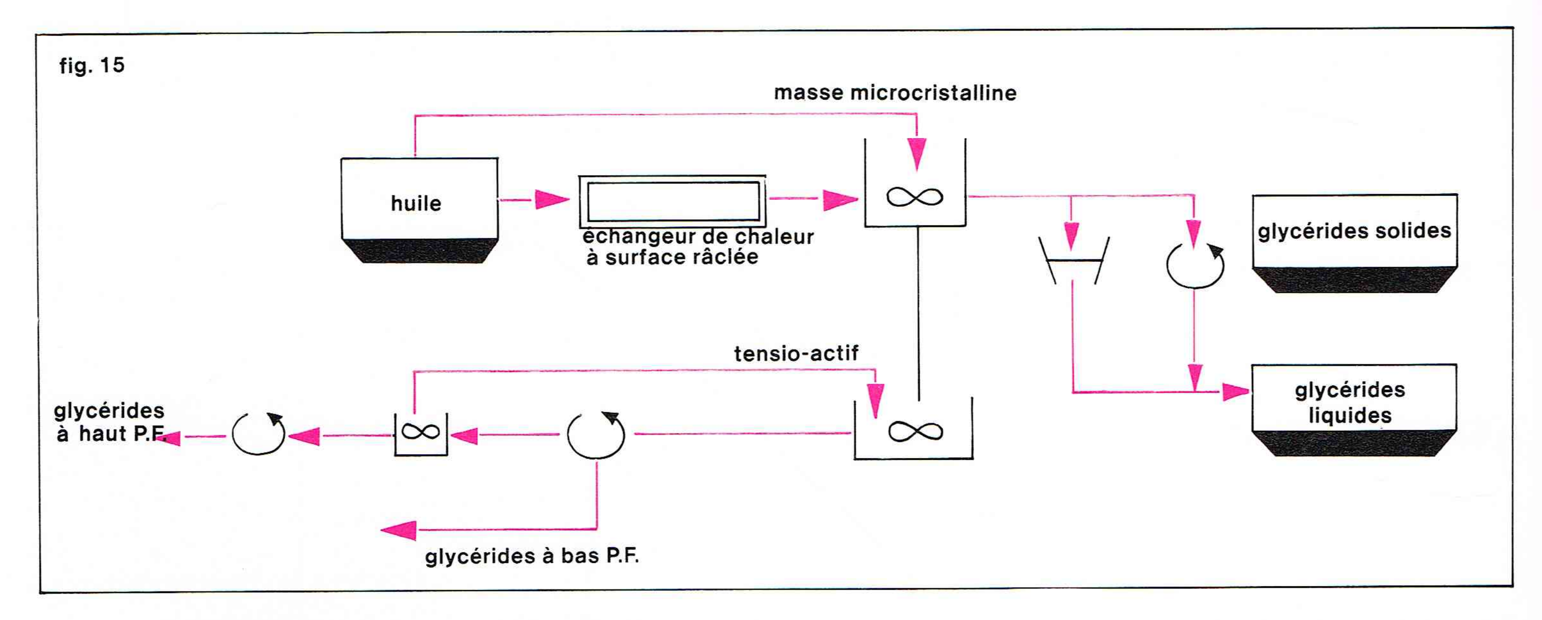
Les mécanismes régulateurs qui permettent de satisfaire aux exigences des consommateurs et des industries utilisatrices de matières grasses se situent au niveau des modifications qui peuvent être apportées à la composition des graisses initiales.

Les propriétés sur lesquelles portent les modifications concernent la valeur nutritive, les caractères organoleptiques, la stabilité chimique (résistance à l'oxydation), les caractéristiques physiques, principalement la cristallisation et la fusion. Trois grands types de modifications sont réalisés industriellement : le mélange et le fractionnement; l'inter- et l'intra-estérification; l'hydrogénation.

#### *Le mélange et le fractionnement*

Ce groupe de techniques ne provoque pas de modification de la structure des molécules de triglycérides, qui conservent leur intégrité; seule la composition en glycérides des matières grasses est plus ou moins modifiée. Les propriétés et les compositions varient d'une façon simplement additive ou soustractive.

Trois techniques principales de **fractionnement** par cristallisations sont utilisées : le fractionnement simple, le procédé Lanza et le fractionnement par solvant. Ces techniques sont fondées sur les différences de propriétés physiques, et en particulier des points de fusion que présentent les glycérides qui constituent les matières grasses. Il est donc possible de séparer dans un mélange les glycérides à haut point de fusion des glycérides à




▲ ***Figure 15** : schéma de principe de la technique de fractionnement des huiles en vue de la séparation de glycérides solides, liquides et à haut P.F.*

bas point de fusion. En effet, par refroidissement d'un mélange de glycérides fondus, on observera dans un premier temps la cristallisation des premiers qu'on pourra séparer des glycérides restés à l'état liquide par filtration ou centrifugation.

La technique de fractionnement devra donc comprendre schématiquement trois phases principales : la nucléation ou formation de germes cristallins, la croissance des cristaux (ces deux premières phases sont obtenues par refroidissement de la masse liquide), et enfin la séparation des cristaux du liquide. Cette dernière phase est très importante, puisqu'elle détermine le rendement de l'opération et conditionne les deux précédentes.

Un refroidissement rapide de la masse liquide favorise la formation de petits cristaux, du fait, d'une part, du fort degré de surfusion atteint de cette façon et, d'autre part, de la présence de la forme métastable $\alpha$ qui a une grande tendance à la microcristallisation. Les microcristaux ont l'inconvénient d'enfermer un pourcentage important de phase liquide, ce qui compromet évidemment le rendement de l'opération.

Il faut donc réaliser un refroidissement très graduel qui nécessite des temps et des installations importants; la solution de compromis a été trouvée en séparant le refroidissement et la cristallisation. Cette dernière s'effectue rapidement en continu dans un échangeur à surface raclée qui permet des échanges thermiques de grande efficacité. On obtient une masse microcristalline à laquelle on ajoute une fraction de la matière grasse non traitée restée à l'état liquide. Tandis que s'établit un équilibre, on observe la fusion des plus petits cristaux et la croissance des plus gros ainsi que la transformation de la forme $\alpha$ en formes cristallines stables. On obtient en définitive une bonne cristallisation, qui n'est pas identique à une macrocristallisation, mais qui présente sur celle-ci l'avantage d'être plus rapide.

Dans le cas de cette première technique de fractionnement, la séparation des cristaux est rendue difficile du fait de la viscosité atteinte à basse température par la phase liquide glycéridique. Cette séparation est effectuée par décantation, filtration ou centrifugation (*fig.* 15).

Une variante du procédé qui vient d'être décrit consiste à ajouter à la masse microcristalline une solution aqueuse d'un agent tensio-actif (décyl- ou dodécylsulfonate de sodium) ; celle-ci déplace la phase liquide glycéridique se trouvant à la surface des cristaux en les mouillant. Les cristaux « mouillés » sont ensuite séparés de la phase lipidique liquide par décantation, ou mieux par centrifugation. Ils sont fondus, puis séparés de la phase aqueuse par centrifugation. La phase liquide glycéridique ainsi obtenue est lavée à l'eau. La solution aqueuse contenant la substance tensio-active est recyclée.

L'utilisation de solvants (généralement hexane, acétone) présente *deux avantages* principaux. D'une part, la *viscosité* de la phase liquide est sensiblement abaissée, ce qui améliore la séparation des cristaux; d'autre part, la *cristallisation* des glycérides a tendance à s'effectuer *sous les formes cristallines* $\beta$ ou $\beta'$. Il n'y a pas de formation de cristaux mixtes. Les gros cristaux se forment donc facilement, et cela d'autant plus que les mouvements des molécules sont facilités par la faible viscosité du milieu. Les cristaux formés peuvent être séparés avec un bon rendement par filtration, la quantité de glycérides liquides retenus étant alors faible.

Il est facile de contrôler les rendements de ces différents procédés en déterminant l'indice d'iode des cristaux séparés. Cet indice est fonction du degré d'insaturation des glycérides, et varie en raison inverse de leur point de fusion (P. F.). Ainsi, une matière grasse, une fraction glycéridique ou même un glycéride présentant un indice d'iode élevé auront un point de fusion faible.

Le rendement d'une opération sera, toutes choses égales par ailleurs, d'autant meilleur que l'indice d'iode des cristaux séparés sera plus faible. Les indices d'iode des fractions solides obtenues par les différents procédés décrits varient d'une façon décroissante lorsque l'on va du premier au dernier. Comme l'on pouvait s'y attendre, c'est évidemment le procédé de fractionnement par solvant qui donne les meilleurs rendements, et le fractionnement simple les plus mauvais. Toutefois, il faut noter que ce dernier procédé permet d'obtenir des fractions glycéridiques sans l'aide d'aucun agent technologique, ni solvant, ni tensio-actif. En principe, ces composés ne devraient pas se retrouver dans les fractions séparées par les procédés les utilisant.

La législation est d'ailleurs nette à ce sujet, en particulier pour les résidus de solvants. Mais le problème semble se situer moins au niveau des traces de solvants, hexane ou acétone, qui peuvent être en fait relativement faciles à éliminer, qu'au niveau des impuretés non volatiles contenues dans les solvants et qui se retrouvent dans le produit (matières grasses) après élimination complète des solvants. Cela est toutefois moins important qu'il n'apparaît à première vue, puisque le solvant est généralement recyclé.

Ainsi, c'est surtout au début d'un cycle, lorsque du solvant nouveau est utilisé, que les risques de retrouver des impuretés non volatiles dans les matières grasses sont les plus grands. Ensuite, c'est du solvant recyclé, c'est-à-dire débarrassé de ses impuretés, qu'on utilise, additionné seulement d'une petite quantité de solvant nouveau correspondant aux pertes observées au cours du recyclage.

Ce fractionnement des matières grasses peut avoir de *multiples applications*, mais les plus courantes dans le domaine alimentaire consistent soit à *retirer une fraction glycéridique gênante* à une graisse pour qu'elle présente les propriétés souhaitées, soit à *extraire d'une graisse une fraction glycéridique* intéressante par ses propriétés.

Le cinquième environ des glycérides des suifs de bœuf et de mouton sont constitués de glycérides à haut point de fusion (il s'agit de glycérides saturés à P. F. 40-44 °C). La présence de ces glycérides limite l'utilisation de ces graisses en alimentation. Ils ne fondent pas dans la

bouche, ce qui a un effet organoleptique tout à fait déplaisant. Par fractionnement, on peut obtenir à partir de ces suifs près de 3/4 de glycérides utilisables en margarinerie. La fraction glycéridique saturée peut être utilisée par ailleurs, soit pour *la préparation de monoglycérides* utilisés comme émulsifiants en alimentation, soit en interestérification avec des huiles.

Dans le procédé de frigélisation, les glycérides du type $S_2U$ (coton environ 20 %, maïs, arachide environ 10 %) sont retirés des huiles de table pour éviter leur cristallisation à basse température (lors de la conservation au réfrigérateur), qui entraîne un trouble peu apprécié du consommateur. Le coût de cette opération est en relation étroite avec les débouchés des glycérides $S_2U$ extraits. Ceux-ci contiennent un pourcentage élevé en acide palmitique et, de ce fait, sont utilisés pour limiter la tendance à la recristallisation des margarines qui contiennent beaucoup de $C_{18}$ (tournesol, soja, etc.).

La frigélisation est appliquée également à des huiles hydrogénées. L'hydrogénation est quelquefois appliquée à l'huile de soja pour augmenter sa stabilité en réduisant le taux d'acide linolénique très sensible à l'oxydation. Bien que l'hydrogénation soit très limitée, il se forme quand même trop de glycérides à haut point de fusion pour que l'huile puisse être utilisée telle quelle comme huile de table. Une élimination de ces triglycérides permet d'obtenir une huile à la fois relativement stable et limpide. Si, sur le plan de l'aspect et de la conservation, le bilan est positif, on peut faire quelques réserves sur le plan nutritionnel. En effet, la diminution de l'acide linoléique et l'apparition inévitable au cours d'une hydrogénation partielle d'acides gras trans peuvent être considérés comme des éléments négatifs.

La *consistance des matières grasses* est en rapport étroit avec le pourcentage de phase liquide qu'elles contiennent. Les matières grasses, même les plus concrètes, renferment toujours un certain pourcentage de phase liquide, et cela encore à des températures relativement basses : — 10 °C. Cette phase liquide est évidemment constituée de glycérides à bas point de fusion. L'élimination par fractionnement d'une partie des triglycérides à haut point de fusion aura pour but de modifier le rapport phase solide/phase liquide et, de ce fait, la consistance de la graisse.

Le *second groupe important d'applications du fractionnement* concerne l'extraction à partir d'une matière grasse d'une fraction glycéridique aux propriétés particulières.

L'huile de palme reste à ce point de vue une source très intéressante de glycérides aux applications diverses. On peut obtenir, par fractionnement par solvant en deux étages, trois fractions : une liquide, utilisée comme huile de friture ou comme matière première pour la margarinerie; deux solides, parmi lesquelles une fraction riche en triglycérides mono-insaturés symétriques qui peut être utilisée dans la fabrication d'équivalents du beurre de cacao.

Les trois techniques de séparations par fractionnement sont appliquées à l'huile de coprah palmiste. Une fraction dont le point de fusion est de 32 à 35 °C est utilisée en confiserie dans les couvertures. Des fractions à P.F. plus élevés peuvent être obtenues par hydrogénation. La fraction liquide hydrogénée donne des produits utilisés également en confiserie, biscuiterie, etc.

### *Estérification, trans-estérification, inter- et intra-estérifications*

Les techniques de fractionnement permettent de modifier la composition des mélanges de glycérides que sont les matières grasses sans toucher à la structure de ceux-ci pris séparément. Les techniques de trans-estérification atteignent la molécule dans son intégrité. Elles modifient la répartition des acides gras dans les molécules de glycérides. Les acides gras eux-mêmes ne sont pas touchés dans cette opération.

Dans l'intra-estérification, les acides gras se réarrangent à l'intérieur d'une molécule de glycérides. Dans l'inter-estérification, ce réarrangement s'effectue entre molécules de glycérides. L'intra-estérification ne se produit jamais seule au cours du traitement des graisses qui, toutes, renferment plusieurs glycérides différents.

*Intra-estérification*

ABC $\rightleftarrows$ CAB, où A, B, C sont des acides gras différents.

*Inter-estérification*

$$AAA + BBB = ABB + BAB + AAB + ABA$$

La **cinétique de cette réaction** est difficile à contrôler. A l'équilibre, on obtient les 6 glycérides qui figurent dans les deux termes de la réaction. Leurs proportions peuvent être théoriquement déterminées *a priori* par le calcul. Si *a* et *b* sont respectivement les concentrations en acides gras A et B, les fractions molaires des différents glycérides obtenus à l'équilibre seront données par les formules suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| AAA | | $a^3$ | |
| AAB | $A_2B$ | $2\,a^2b$ | $3\,a^2b$ |
| ABA | | $a^2b$ | |
| ABB | $B_2A$ | $2\,b^2a$ | $3\,ab^2$ |
| BAB | | $b^2a$ | |
| BBB | | $b^3$ | |

La trans-estérification, après avoir désorganisé la structure des glycérides naturels, réarrange donc les acides gras au hasard dans les molécules. Cette répartition n'est pas toujours souhaitée. Il est possible de la modifier en déplaçant l'équilibre, en éliminant par exemple les glycérides à haut point de fusion : c'est *l'inter-estérification dirigée* qui combine l'inter-estérification et le fractionnement. Ce procédé peut s'effectuer en continu. La séparation des fractions glycéridiques solides peut être réalisée jusqu'à l'obtention du mélange recherché. En fait, cette technique relativement compliquée est beaucoup moins utilisée que l'inter-estérification dirigée.

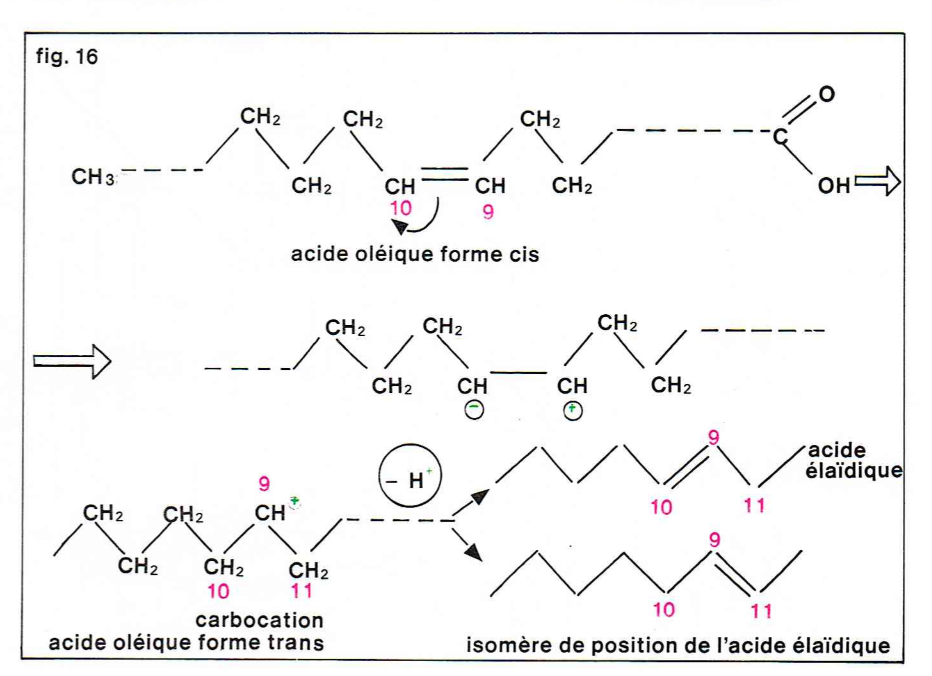
Les **catalyseurs** utilisés au cours de l'inter-estérification sont surtout des catalyseurs basiques. Ils sont plus actifs que les catalyseurs acides (acide sulfurique, acide parasulfurique). Les alcoolates de sodium présentent l'avantage de permettre le travail à basse température, ce qui rend possible l'inter-estérification dirigée. Il est en effet impératif dans ce cas que la température soit telle que l'on puisse avoir une phase solide et une phase liquide, puisque ce procédé est fondé sur le déplacement de l'équilibre thermodynamique par retrait de la phase solide.

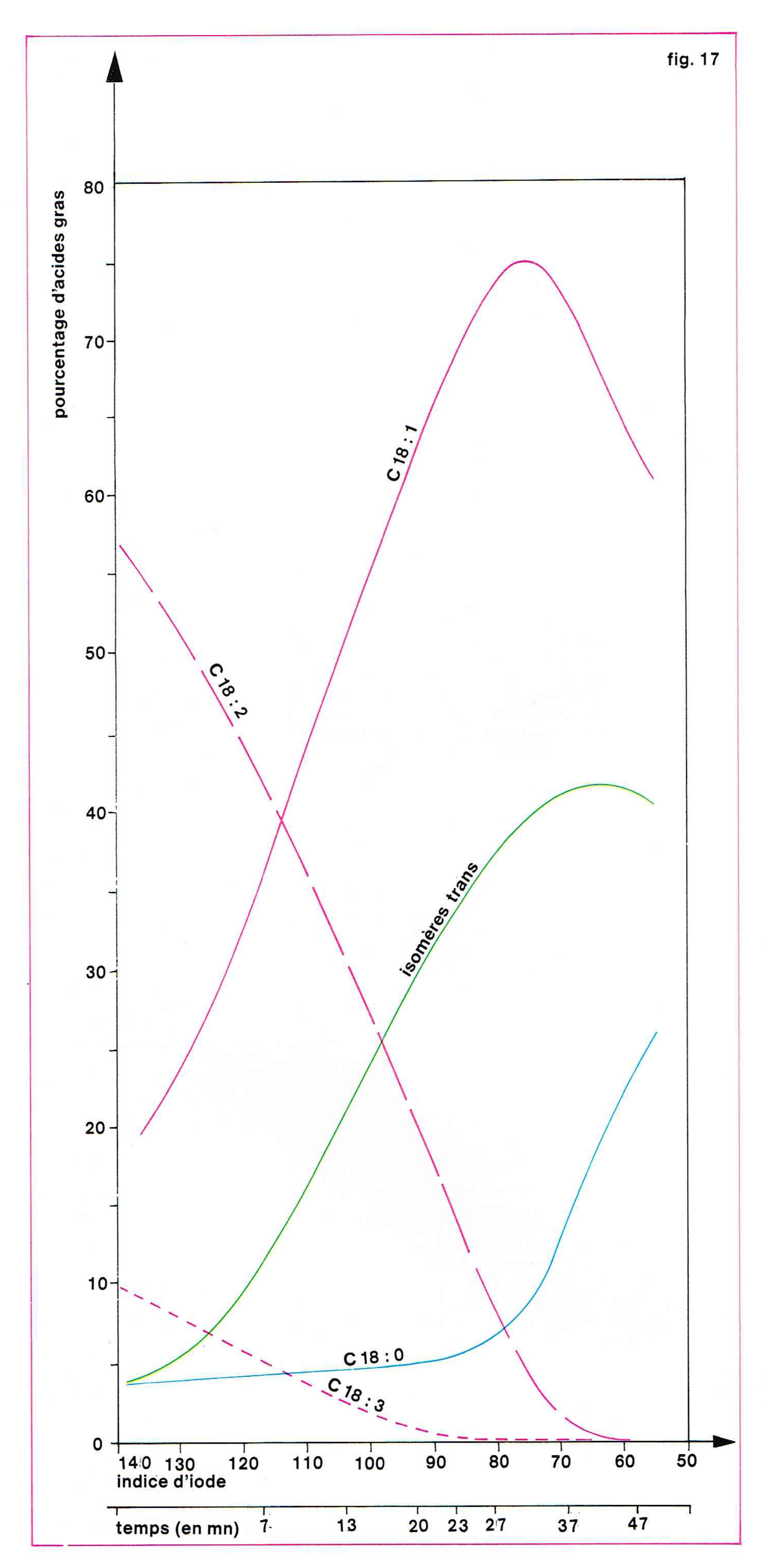
Les huiles doivent être traitées avant inter-estérification afin d'éliminer les acides gras et l'eau.

### *L'hydrogénation*

Les techniques d'inter-estérification ne modifient pas la nature des acides gras entrant dans la composition des glycérides, mais seulement leur position au sein de ces molécules. A la limite, il est tout à fait envisageable de revenir à l'état initial, c'est-à-dire de retrouver la structure qu'avaient les molécules de glycérides avant l'inter-estérification.

▼ ***Figure 16 : hydrogénation partielle de l'acide oléique.***






Dans le cas de l'hydrogénation, les acides gras sont modifiés dans leur nature mais non dans leur répartition. Cette modification de nature entraîne une modification des propriétés des glycérides, puisque celles-ci sont liées au type et à la répartition des acides gras qui les constituent. *Le but principal du traitement est d'élever le P.F.* des glycérides. Il est ainsi possible de fabriquer à partir d'huiles des graisses concrètes. L'hydrogénation présente également l'avantage d'augmenter la résistance à l'oxydation des matières grasses.

L'hydrogénation consiste à saturer les doubles liaisons des acides gras insaturés. L'hydrogénation peut être complète et aboutir à l'acide saturé correspondant. Par exemple, en partant de l'acide oléique, acide gras mono-insaturé à 18 atomes de carbone, il est possible d'obtenir, suivant que *l'hydrogénation est partielle ou complète*, des dérivés trans de l'acide oléique, dont l'acide élaïdique, ou de l'acide stéarique, acide saturé contenant le même nombre d'atomes de carbone que l'acide oléique. Les points de fusion de ces acides vont croissant, de l'acide oléique (P.F. + 14 °C) à l'acide stéarique (P.F. + 70 °C), en passant par l'acide élaïdique (P.F. + 51 °C) [*fig.* 16].

La **cinétique de la réaction** d'hydrogénation, schématisée par les courbes (*fig.* 17) relatives à l'huile de soja, permet de voir l'évolution des différents acides de cette huile en fonction du temps (en ordonnées les pourcentages d'acides gras, en abscisses les indices d'iode et le temps).

L'indice d'iode de l'huile de soja avant hydrogénation est de 135; il ne cessera de baisser, bien entendu, au cours de l'hydrogénation. La composition en acides gras de départ est donnée en lisant les pourcentages correspondant aux différents acides gras situés sur la verticale de l'indice d'iode 135, soit :

55 % pour l'acide linoléique;
21 % pour l'acide oléique;
8 % pour l'acide linolénique;
4 % pour l'acide stéarique.

Le reste, soit environ 12 %, est constitué d'acide palmitique qui ne figure pas sur le graphique. En effet, cet acide gras n'intervient pas dans la cinétique de l'hydrogénation de cette huile, du fait qu'aucun acide gras insaturé à 16 atomes de carbone ne se trouve dans l'huile de soja. L'acide palmitique, seul acide à 16 atomes de carbone, étant saturé, reste insensible à l'hydrogénation. Sa teneur n'est donc pas modifiée au cours du traitement.

Un examen rapide du graphique montre que les teneurs en acides oléique et élaïdique croissent très vite pour atteindre un maximum vers 75-70 d'indice d'iode. La teneur en acide stéarique croît lentement jusque vers 85 d'indice d'iode, puis plus rapidement de 85 à 60. Les teneurs en acides linoléique et linolénique décroissent rapidement. Le premier a pratiquement disparu à 60 d'indice d'iode, le second dès 95.

Le schéma des réactions qui se déroulent au cours de l'hydrogénation est le suivant :

acides gras tri-insaturés (ex. : ac. linolénique) → acides gras di-insaturés (ex. : ac. linoléique) → acides gras mono-insaturés (ex. : ac. oléique) → acides gras saturés

La **sélectivité de l'hydrogénation** pour les acides gras insaturés ne peut être obtenue qu'en jouant sur les rapports des constantes de vitesse de réaction, lesquels peuvent être déterminés par calcul à partir des compositions en acides gras initiales et finales et des catalyseurs employés.

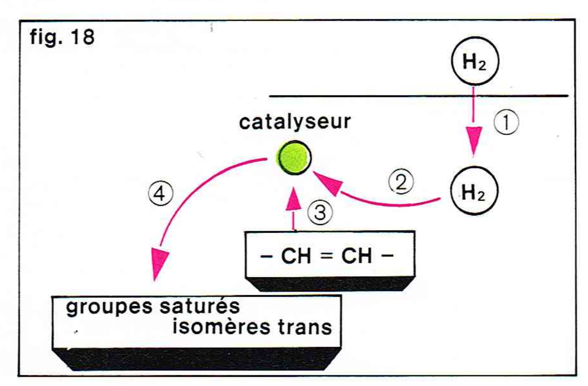
Sur le schéma de l'hydrogénation de l'huile de soja, il ressort nettement que la baisse des teneurs en acides gras insaturés est concomitante avec l'élévation des teneurs en acides oléiques, en dérivés trans, et en acide stéarique. Si l'on résout de cette façon le problème de la stabilité de l'huile de soja, par élimination des acides gras très insaturés particulièrement sensibles à l'oxydation, on crée par ailleurs des problèmes nutritionnels. En effet, la perte en acide linoléique, acide gras *indispensable*, qui peut être totale si l'on atteint l'indice d'iode de 60, est préjudiciable à la valeur biologique de l'huile de soja

ainsi traitée. D'autre part, la présence de quantités quelquefois importantes d'isomères trans dans une telle graisse n'est pas pour le moins souhaitée par les nutritionnistes.

Le problème à résoudre dans des huiles comme celle de soja est de réduire le plus possible la teneur en acide linolénique en maintenant le taux d'acide linoléique (acide gras essentiel) et en s'efforçant de former le minimum de dérivés trans. Il est alors possible d'obtenir des huiles de table de bonne stabilité qui ont conservé leur valeur biologique.

A partir des différentes réactions qui se déroulent au cours de l'hydrogénation, il est possible d'établir un système d'équations qui peut être résolu par ordinateur. On obtient une parfaite concordance entre la simulation du processus et les données expérimentales.

Le **choix du catalyseur** est très important. Les catalyseurs à base de cuivre ont une sélectivité élevée, c'est-à-dire qu'ils favorisent la transformation d'acides très insaturés en désinsaturés. Ils ont d'autre part tendance à former une faible quantité de dérivés trans. Par contre, leur durée de vie est très courte, et leur élimination du produit fini est relativement difficile.




◀ *Figure 18 : transferts d'hydrogène lors de l'hydrogénation de l'huile par catalyse hétérogène.*

Dans le cas de l'huile de soja, l'hydrogénation est très partielle, puisque l'on descend rarement au-dessous de 115 d'indice d'iode. Pour l'obtention de graisses concrètes à partir d'huiles, il faut aller plus loin, et les **produits de transformations peuvent être variés** : isomères de position, isomères de conjugaison, stéréo-isomères trans. Les différents isomères peuvent se trouver dans les produits finis en quantités importantes et toujours très variables. De nombreux facteurs jouent sur leur proportion : l'influence de la taille des pores des catalyseurs au nickel sur les quantités des différents isomères trans formés en est un exemple typique.

L'hydrogénation s'effectue par *catalyse hétérogène*. Il faut donc, pour qu'elle se déroule dans de bonnes conditions, qu'un certain nombre de transferts soient réalisés. Tout d'abord le transfert de l'hydrogène gazeux vers la phase liquide puis, à l'intérieur de celle-ci, vers le catalyseur. Il faut ensuite, bien entendu, que la partie insaturée accède au catalyseur et rentre en contact avec l'hydrogène. Enfin il faut que la molécule hydrogénée puisse repasser dans le milieu (*fig.* 18).

L'hydrogène, qui est préparé par divers procédés (électrolyse, gaz à l'eau, dissociation, $NH_3$), doit être pur et en particulier ne doit pas contenir de soufre, d'hydrogène sulfuré mono- et dioxyde de carbone.

Les graisses à hydrogéner doivent être raffinées. Elles ne doivent contenir ni savons, ni eau, et seulement des traces d'acides gras libres et de phosphatides. Ces derniers bouchent les pores du catalyseur dont les dimensions sont supérieures à 20 Å pour permettre aux molécules de diffuser.

La température d'hydrogénation se situe entre 120 et 200 °C. Le catalyseur représente entre 0,02 et 0,7 % de la quantité d'huile traitée. La vitesse d'agitation varie entre 70 et 150 t/mn.

L'*hydrogénation est contrôlée* par l'indice d'iode, l'indice de réfraction ou la mesure des quantités d'hydrogène absorbées. Après hydrogénation, l'huile est séparée du catalyseur par filtration après refroidissement vers 90 °C. L'huile est ensuite raffinée.

◀ *Page ci-contre, figure 17 : cinétique de la réaction d'hydrogénation de l'huile de soja à 150 °C et sous 3 atmosphères de pression d'hydrogène.*

▼ *Conditionnement des huiles de table en bouteilles de matière plastique.*

Photothèque Lesieur



J. Guillard – Top

▲ *44 % des Français se rendent en vacances au bord de la mer. En 1976, chacun a disposé d'environ 35 cm de littoral.*

# LES LOISIRS

## LOISIRS ET SOCIÉTÉ

### *L'évolution des loisirs*

Les loisirs tiennent une place privilégiée dans la vie quotidienne des Français en 1978. C'est un phénomène récent; dans un laps de temps très court au regard de l'histoire de l'humanité, les hommes sont passés d'une situation d'esclaves du travail à une relative libération par rapport à celui-ci et à une prééminence, dans leur esprit, des loisirs sur le travail. Cette modification profonde des mœurs et des mentalités se manifeste par l'évolution de la définition donnée au mot loisir au cours des temps.

L'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert précisait, à la fin du XVIIIe siècle, que le loisir se comprenait comme « le temps vide que nos devoirs nous laissent, et dont nous pouvons disposer d'une manière agréable et honnête ». Pour Marx, le loisir était nécessaire dans la mesure où il était conçu comme un repos; il permettait la détente du travailleur en vue d'une meilleure productivité. Le dictionnaire Larousse en sept volumes, paru dans les premières années de ce siècle, donnait du loisir la définition suivante : « Temps disponible en dehors des occupations régulières, distractions, occupations auxquelles on se livre de son plein gré, pendant le temps qui n'est pas pris par le travail ordinaire »; il associait au mot loisir le mot désoccupation : « Le loisir est un repos d'un moment; c'est le temps de liberté que laissent les occupations ordinaires, et dont on dispose souvent pour faire des choses fort utiles ou au moins prendre une distraction souvent nécessaire. » C'est donc au début du XXe siècle seulement que sont perçues deux notions nouvelles concernant les loisirs : c'est une liberté, et il est nécessaire d'en disposer.

La première définition positive du loisir apparaît seulement en 1930; il y a alors passage de la notion de temps à celle d'activité.

Le Littré, édition de 1960, affirme que le loisir est « l'état dans lequel il est permis de faire ce que l'on veut ». On est passé en quelques années de la notion d'activité à celle d'état, reconnaissant ainsi la parité entre activité consacrée au travail, et activité consacrée au loisir.

Le métier, la profession sont un état, le loisir en est devenu un lui aussi, et gagne peu à peu ses lettres de noblesse.

Les sociologues et les écrivains qui se penchent sur le problème des loisirs en donnent la définition suivante : c'est la liberté d'être, la disponibilité totale pour un ensemble d'activités choisies délibérément, et sur lesquelles aucune pression extérieure ne peut être exercée. C'est la possibilité pour l'homme de réaliser une partie de ses aspirations, de s'épanouir en dehors des contraintes habituelles au milieu du travail. La grande nouveauté du XXe siècle, outre la modification dans l'approche de la notion de loisir, est que celui-ci est associé à tous les âges de la vie, et à toutes les catégories sociales dans une proportion toujours plus grande. A cette évolution dans sa conception et dans son champ d'applications s'est ajoutée une transformation totale dans sa structure.

Des loisirs toujours plus nombreux sont offerts aux Français; ils sont de plus en plus sophistiqués, et la technologie prend une grande part dans la fabrication de leurs supports. Mais le loisir sous-entend une totale disponibilité de l'esprit, que la manière de vivre actuelle engendre rarement.

### *Pourquoi une civilisation de loisir?*

Depuis 1936, date des premiers congés payés, les loisirs ont pris une place grandissante dans la vie quotidienne des Français. La notion de loisirs, nous l'avons vu, a évolué depuis le XVIIIe siècle; mais ce n'est qu'à l'époque où l'on reconnaît aux gens le droit aux vacances que le loisir devient une réalité pour l'ensemble des Français.

De 1936 à 1978, les choses ont encore beaucoup évolué; on a assisté à une véritable transformation du

système de valeurs dans lequel nous vivons : le travail n'est plus la seule motivation des Français.

Le principal changement intervenu dans leur mentalité est que le loisir est devenu nécessité dans le contexte socio-économique de notre époque. La reconnaissance du droit au loisir est l'un des aboutissements de la lutte pour la dignité de l'homme; diverses étapes ont marqué cette lutte : reconnaissance des droits des travailleurs, premiers congés payés, droit au repos hebdomadaire. Pour l'adulte comme pour l'enfant, le loisir sous toutes ses formes n'est plus la récompense que l'on octroie au travailleur sérieux, méritant, ou à l'enfant sage; à notre époque, c'est une nécessité pour l'équilibre de tous les individus et de la société.

Nos ancêtres — dit-on — savaient mieux vivre que nous. Avant la Révolution, 150 fêtes chômées (mais non rémunérées) venaient rompre le rythme du travail. La Révolution française, en supprimant les corporations, a fait reculer la reconnaissance du droit au loisir; c'est seulement en 1874 que l'on interdit d'employer dans les mines les enfants de moins de 12 ans. La première limitation légale du temps de travail n'intervient qu'en 1892; en 1904, la journée de travail est limitée à 10 heures pour les femmes. Depuis 1906, une journée hebdomadaire de repos est octroyée aux travailleurs; en 1919, la semaine légale de travail est ramenée à 48 heures (soit 8 heures par jour pendant 6 jours), mais la mise en application de cette mesure n'est pas généralisée. En 1936, le Front populaire décide de limiter la semaine de travail à 40 heures; par suite des circonstances économiques, puis internationales, cette loi ne sera appliquée que longtemps après.

En 1936, la véritable naissance de la société des loisirs s'effectue avec l'octroi des deux semaines obligatoires de congés payés tous les ans; en 1956, une troisième semaine est accordée aux salariés, et une quatrième en 1969; les revendications syndicales actuelles pour une cinquième semaine payée en hiver (qui se pratique déjà dans bon nombre d'entreprises) ne reçoivent pour l'instant aucun écho auprès du patronat et des pouvoirs publics. Depuis une dizaine d'années, deux journées de congé hebdomadaire sont octroyées à tous les salariés, alors que l'on assiste à une diminution des heures de travail. Dans l'industrie par exemple, en 1970, les salariés français travaillaient 44 heures par semaine; en 1974, leur semaine de travail était ramenée à 42 h 30 (la même année, les Anglais employés dans l'industrie travaillaient 41 h 30, les Allemands 42 h).

Parallèlement à la diminution des horaires, on assistait à l'introduction, dans les méthodes de travail, de pratiques nouvelles (le plus souvent importées des États-Unis et des pays scandinaves) : journée continue, horaires mobiles... La généralisation progressive de la mensualisation, les aides en cas de chômage et de maladie apportent aux travailleurs une sécurité financière qui leur permet de penser aux loisirs.

Enfin, l'élévation de l'espérance de vie, l'abaissement de l'âge de la retraite drainent vers les loisirs une catégorie de gens qui ont rarement pris le temps de vivre.

L'une des causes principales du développement en quelques années de la civilisation des loisirs (que l'on fait naître habituellement en 1950) réside dans la transformation totale des structures sociales. Depuis cette date, la répartition des salariés par branches d'activité s'est profondément modifiée; le secteur primaire, traditionnellement peu touché par les loisirs, regroupait 34 % de la population en 1946, et seulement 15 à 16 % de nos jours. Le secteur secondaire a en partie bénéficié de l'exode rural (31 % en 1946, 40 % actuellement); mais c'est essentiellement le secteur tertiaire, celui des services, qui a connu une forte croissance. Cette nouvelle activité économique conditionne le développement de la consommation des loisirs de masse.

Entre 1962 et 1972, le nombre de cadres moyens a augmenté de 34 %, et celui des cadres supérieurs et professions libérales de 30 %. Or, ce sont les catégories sociales qui sont les plus perméables à la civilisation des loisirs, et qui consomment le plus de ses biens; ce sont également ceux qui contribuent au renouvellement des types de loisirs proposés, en suscitant une offre toujours plus diversifiée. C'est ainsi qu'entre 1958 et 1968, parmi les douze produits qui ont eu le plus fort taux de croissance, dix concernaient les loisirs.



Collection Viollet




Collection Viollet

▲ *En haut, ouvriers au travail. Ci-dessus, la société des loisirs naît réellement en 1936, avec l'octroi de deux semaines de congés payés tous les ans pour les salariés.*

▼ *Goûter de personnes du troisième âge. L'élévation de l'espérance de vie et l'abaissement de l'âge de la retraite drainent vers les loisirs les personnes du troisième âge (Centre éducatif et culturel du Val d'Yerres - Essonne).*



J.-Ph. Charbonnier – Top




J.-Ph. Charbonnier – Top

▲ *La mécanisation du travail a contribué à déséquilibrer la vie du travailleur en enlevant à son labeur son intérêt et sa finalité (usine Renault-Saviem).*

▼ *En Région parisienne, 50 % des habitants perdent chaque jour plus d'une heure dans les transports, et 30 % plus de deux heures.*




G. Marineau – Top

La mécanisation a allégé le travail humain; elle a également contribué à déséquilibrer la vie du travailleur, en enlevant à son labeur son intérêt et sa finalité. C'est l'une des explications que fournissent le plus volontiers les sociologues pour expliquer le développement de l'ère du loisir. C'est ainsi que s'est progressivement dégagée la nécessité de prendre des vacances, afin de retrouver l'équilibre nerveux compromis pendant l'année de travail. Le loisir de fin de journée, de fin de semaine ou de fin d'année permet la détente après des heures de travail souvent pénibles (travailleurs manuels ou employés d'exécution sont usés par l'uniformité de leurs tâches, alors que les cadres et les chefs d'entreprise subissent le « stress », conséquence de leurs responsabilités). Au temps consacré au travail viennent s'ajouter, dans de nombreux cas, de longues heures de transport (50 % des habitants de la région parisienne perdent tous les jours plus d'une heure dans les transports, et 30 % plus de deux heures). La moyenne nationale hebdomadaire d'heures de transport s'établit autour de 4 h 30. 42 % des salariés de la région parisienne passent plus de douze heures par jour en dehors de leur domicile; 16 % d'entre eux utilisent quotidiennement au moins trois modes de transport différents. Si l'on tient compte des trajets, certains salariés actuels atteignent une fatigue proche de celle de l'ouvrier de 1830, qui habitait à la porte de son usine, où il travaillait 73 heures par semaine.

La progression du loisir vient également de l'évolution des moyens de communication et d'information : la radio, la télévision, les journaux sont des loisirs en eux-mêmes, et véhiculent des idées et des informations sur les loisirs. Ils imposent à l'ensemble de la population française l'image d'un homme du XXe siècle, actif et dynamique dans la réalisation de ses désirs.

Mais plus qu'à toute autre chose, la naissance et le développement de la société des loisirs sont liés à la formidable expansion économique des années 50 à 60; de 1950 à 1956, le pouvoir d'achat des Français s'est accru de 36 % en francs constants. Après dix ans de crise économique (de 1929 à 1939), suivis de dix ans de crise mondiale (assortie de nombreuses difficultés de ravitaillement), les Français ont ressenti, en 1950, le désir de profiter pleinement des avantages qui leur étaient offerts. Enfin, l'éloignement de la religion et de son culte, tout comme la précarité de la situation internationale, donnent envie aux Français de « consommer » du loisir.

Les loisirs, conséquence de l'industrialisation, jouent un rôle capital pour rendre plus humaine la civilisation postindustrielle. En 1978, les hommes ont besoin de sociabilité, de relations humaines chaleureuses, vraies; c'est dans l'exercice en commun d'un loisir que les Français surmontent leur isolement et leurs difficultés relationnelles.

## Le développement des loisirs

« Le loisir déferle sur l'homme comme une avalanche printanière », constate Jean Fourastié *(Des loisirs, pour quoi faire ?)*.

En 1936, 550 000 personnes ont bénéficié des billets populaires de congé annuel, premier pas vers le tourisme de masse. Depuis 1960, 5 millions de billets populaires de congé sont distribués tous les ans (alors que seulement 18 à 20 % des vacanciers partent en vacances en train). 1,7 million de billets de week-end sont vendus toutes les semaines en France, manifestant l'importance que revêt le départ de fin de semaine pour nos compatriotes. Si le nombre des voyageurs en train tend actuellement à se stabiliser, le kilométrage parcouru augmente considérablement : 32 milliards de km en 1960, 51 milliards en 1976.

La progression de la vente des voitures est également significative de l'évolution de la société de loisirs; en 1951, le parc automobile de tourisme était constitué de 1,7 million de véhicules; en 1977, on en dénombrait 16,2 millions. On prévoit qu'en 1985, 20 millions d'automobiles seront en circulation. 31 % du budget des loisirs est consacré à la voiture (contre 12 % en 1950).

En 1976, le parc des vélos, dont l'utilisation est essentiellement touristique, comprenait 12,2 millions d'unités; le cyclomoteur et plus récemment la moto constituent un des modes de loisirs les plus recherchés par les jeunes. On comptait 5,9 millions de cyclomoteurs en 1976

(contre 227 000 en 1951) et 400 000 motos (contre 250 000 en 1959).

L'augmentation du trafic aérien est également symptomatique de la société des loisirs, ainsi que l'évolution des prix de ce mode de transport. Le tableau suivant indique le nombre de passagers par km/transportés :

| | | Coefficient de remplissage moyen |
|---|---|---|
| 1950 | 1 milliard 117 millions | 64,7 % |
| 1955 | 2 milliards 300 millions | 67,1 % |
| 1960 | 4 milliards | 62,5 % |
| 1965 | 6 milliards 350 millions | 56,5 % |
| 1970 | 10 milliards 660 millions | 53,8 % |
| 1975 | 18 milliards | 58,7 % |
| 1977 | 20 milliards 800 millions | 62,1 % |

En 25 ans, les tarifs aériens en francs constants ont baissé de 64 %, sous la pression des créateurs de produits « tourisme aérien » : charters, « trains du ciel » qu'un Américain a mis en place pour la première fois à la fin de 1977. Il offrait à cette époque la possibilité de faire l'aller-retour Londres-New York pour 1 180 F. Cette démocratisation incontestable du tourisme ne va pas sans un appauvrissement des prestations offertes. Mais le système a l'avantage de secouer la léthargie des compagnies régulières (il y a dix ans, sur l'Atlantique Nord, 54 % des passagers voyageaient à plein tarif; ils ne sont plus aujourd'hui que 29 %).

Les loisirs comptent beaucoup dans la vie quotidienne des Français. La consommation actuelle d'une famille d'ouvriers en biens de loisirs, transports exclus, avoisine les 7 % du revenu annuel (contre 10 % pour les Allemands). La période de congé coûte à chaque ménage approximativement un mois de son revenu. En moyenne, le Français consacre à l'ensemble de ses loisirs 1/6 de ses revenus (contre 1/10 en 1950).

Certains types de loisirs ont été délaissés au profit d'autres : c'est le cas des spectacles, qui représentaient 7 % du budget loisirs en 1950, et seulement 2 % actuellement; de même, les journaux et périodiques ne totalisent plus que 3 % des dépenses de cette branche en 1977 (contre 8 % en 1950) ; enfin, 40 % du budget loisirs était



F. Gohier – Pitch



▲ *En 1978, 31 % du budget des loisirs des Français est consacré à l'automobile (contre 12 % en 1950).*

◀ *Malgré la grande prolifération des journaux et périodiques, leur achat ne représentait plus en 1977 que 3 % du budget loisirs, contre 8 % en 1950.*

▼ *La civilisation des loisirs donne naissance à son exploitation commerciale.*




G. Moore – Top




Top

▶ *Le jardinage hebdomadaire représente une compensation physique et une détente pour la majorité des Français.*



G. Schachmes – Parimage

consacré aux cafés en 1960, et seulement 18 % en 1970. Ces divers postes n'ont pas évolué en même temps que l'ensemble des autres biens de loisirs, et les dépenses qui leur sont consacrées n'ont pas suivi le rush que ces derniers ont connu.

En même temps que la civilisation des loisirs, naît son exploitation commerciale : en 1950, se crée le premier village du Club Méditerranée; en 1964, le « village de loisir » apparaît à la Foire de Paris; le marché du disque, de la télévision, de la photo, des articles de sport s'élargit; la publicité prend son véritable essor, et crée les besoins, qu'elle soutiendra et qui la nourriront en retour, en inventant les produits ou les biens appropriés.

## *Le loisir vécu*

De nombreux sociologues définissent le loisir en fonction du travail, de la famille, et de l'ensemble du contexte social vécu par les Français; il ressort de leurs études que sa pratique est le plus souvent liée à l'insatisfaction rencontrée dans le travail; cela est particulièrement vrai pour les jeunes. Le temps de loisir doit donc être un moyen terme entre la vie quotidienne d'un individu, avec tout ce qu'elle comporte de contraintes, et les réactions instinctives de chacun à l'égard de la société. Le loisir est une rupture avec la vie professionnelle, quelquefois même avec la vie familiale.

La fragmentation du temps est née avec l'industrialisation, qui a, pour la première fois, imposé des heures strictes de travail aux hommes. Aujourd'hui, en contrepartie des horaires précis, se développe la notion de temps à soi. Les conditions de travail influencent l'homme dans sa recherche de loisirs; Jean Fourastié *(Des loisirs, pour quoi faire ?)* reproche à l'homme de mal vivre son travail comme ses loisirs : « Ignorant le vrai repos comme le vrai labeur, on en arrive à transposer dans les loisirs les rythmes et les événements du travail. » L'hygiène de vie déteint sur l'hygiène des loisirs. Des loisirs bien vécus ont une action bénéfique sur le travail, car, selon Pierre Naville, il y a « transformation de l'illusion professionnelle en conscience objective du métier et de ses conditions d'exercice ». L'introduction même du loisir dans le contexte professionnel ne peut être que salutaire à tous (matches sportifs entre usines...).

Malgré l'engouement actuel pour toutes les formes de détente, il est néanmoins intéressant de noter le fait suivant : en dehors du temps normal de travail, nombre d'ouvriers (environ 25 %) cherchent à accomplir des heures supplémentaires. Lorsqu'on demande aux intéressés la raison de cette pratique qui empiète sur leurs heures de liberté, ils répondent : « C'est pour pouvoir consommer plus de loisirs. » Même aujourd'hui, le désir de gagner plus d'argent est la préoccupation dominante de nombreux salariés, et passe avant la revendication d'un allongement du temps de loisirs. De même, près de 50 % des retraités continuent à travailler après l'âge légal de la retraite; tous ne le font pas par nécessité financière.

L'explication d'une telle attitude réside dans le fait que de nombreuses personnes ne savent pas utiliser leur temps libre, et découvrent l'ennui.

En France, l'idée de loisir, bien que familière à tous, n'est pas encore intégrée pleinement dans le contexte social; il n'existe pas de politique globale, réfléchie et concertée du loisir. Le « marché du loisir » se compose donc de biens commerciaux, ou encore de prestations fournies par des associations; mais leurs moyens sont limités, et elles ne peuvent faire face à la demande grandissante d'évasion. Les Français ressentent comme une nécessité le dépaysement, le changement de vie; le loisir doit délivrer l'esprit des automatismes mentaux ou physiques liés à l'activité professionnelle. Joffre Dumazedier classe les loisirs en trois catégories : le délassement, le divertissement, le développement de la personnalité; ces trois fonctions sont étroitement imbriquées, et sont vécues par tous les individus à des degrés différents. La possibilité offerte à chacun de choisir son loisir est un défi posé à l'homme, qui ne peut que rarement exercer son libre arbitre. Or le loisir n'est pas une inaction, il demande une réflexion, un effort, afin d'être conçu au mieux des intérêts de l'homme dont le temps libre est compté.

Il y a loin du loisir-repos du travailleur manuel excédé de fatigue des siècles derniers, ou du XXe siècle industriel, aux loisirs assumés par l'individu. Pour un bon équilibre de l'homme et de la société, l'idéal serait que le travailleur manuel recherchât ses distractions dans le domaine de l'esprit. Le travailleur intellectuel, celui qui est enfermé dans un bureau, pourrait trouver dans la nature et l'exercice la compensation physique qui lui est refusée toute la semaine. Mais ce schéma utopique est rarement suivi, même si le jardinage hebdomadaire sévit chez les cadres moyens et supérieurs. Dans la pratique, on constate que l'homme est en général prisonnier d'un nombre limité de centres d'intérêts. La tendance générale

à la spécialisation se retrouve jusque dans les loisirs, qui sont trop souvent la prolongation du travail. C'est ainsi que, d'après une enquête effectuée par Joffre Dumazedier à Annecy, le thème le plus souvent choisi en matière de lecture concerne la profession.

Trois étapes peuvent être définies dans l'évolution de l'attitude de l'homme en face de ses loisirs :

— dans un premier temps, les loisirs prolongent le métier, soit que celui-ci convienne particulièrement à l'intéressé, soit par conditionnement et automatisme ;

— dans un second temps, l'individu accepte et recherche des loisirs organisés, dont l'organisation même lui offrira des possibilités diverses d'expression et de réalisation ; ainsi, des activités plus variées seront pratiquées, et l'enrichissement se manifeste d'une manière incontestable ; de très nombreuses personnes ne dépassent pas ce stade, et trouvent dans les loisirs organisés la pleine réalisation de leurs désirs ;

— enfin, quelques personnes en arriveront à rechercher, individuellement ou collectivement, des formes d'activités qui leur sont propres. C'est la meilleure forme du loisir de l'homme intelligent, car elle est source de créativité.

Ce schéma est, bien sûr, théorique, mais il a l'intérêt de permettre une certaine classification des hommes en face de leurs loisirs.

En 1970, on pouvait encore se poser le problème suivant : allons-nous vers une société de consommation dont la motivation principale serait la quête du profit (en vue d'un surcroît de consommation), ou bien vers une société de loisirs : la technique au service de l'homme pour une vie plus équilibrée ? Aujourd'hui, après plusieurs années de crise économique mondiale qui ont restreint la croissance de notre niveau de vie, le problème ne se pose plus dans les mêmes termes. On sait maintenant que l'énergie ne doit pas être gaspillée ; que nous devrons pendant quelques années nous contenter de maintenir le niveau actuel de notre train de vie, et que l'écologie n'est pas un vain mot. Cet obstacle économique à nos projets n'est-il pas une bonne chose ? Il est certain, en effet, que les Français deviennent plus exigeants en s'enrichissant. Sans choisir entre l'esclavage productif et la liberté improductive, les événements nous conduisent à moyen terme vers une plus grande sagesse.

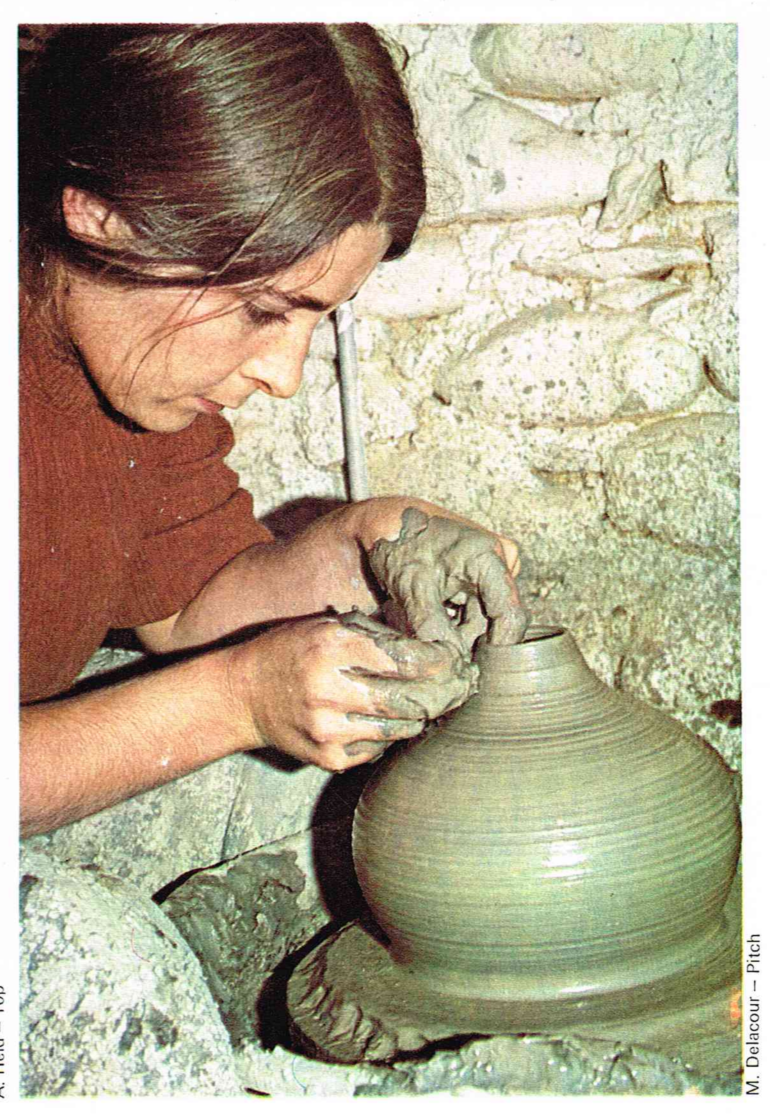
L'homme de la fin du XX$^{e}$ siècle est aliéné par la surabondance des possibilités de loisirs et son désir de toutes les connaître ; il ne fait alors que les survoler, et il est insatisfait de cette précipitation. Or, il a besoin de sérénité et d'apprentissage pour que sa personnalité se développe harmonieusement. De plus, la fatigue nerveuse ressentie par l'ensemble de nos concitoyens aboutit à une disponibilité toute relative à l'égard des loisirs. Dès 1970, Jean Fourastié écrivait : « On ne sait pas encore quel peut être le remède à cet état de choses ; un retour au passé ? » Il était en cela quelque peu prophète, puisque, depuis plusieurs années, la tendance, en matière de loisir, de travail, de mode, réside dans un retour vers la nature et les valeurs anciennes : renouveau du travail manuel et de l'artisanat, mode des vacances à la campagne... Grâce à ce retour à la nature, l'homme espère renouer le contact avec les individus qui l'entourent ; il veut se replacer dans un environnement à taille humaine.

La fièvre des voyages à l'étranger s'estompe, et les Français redécouvrent leurs campagnes, leurs montagnes ; le loisir remplit alors son rôle originel : faire retrouver à l'homme son équilibre physique, moral et intellectuel. Le loisir, encore trop souvent perçu comme une nécessité de s'amuser à tout prix, évolue favorablement vers la redécouverte de la liberté. L'étude de l'évolution des loisirs aux États-Unis nous montre que les Américains

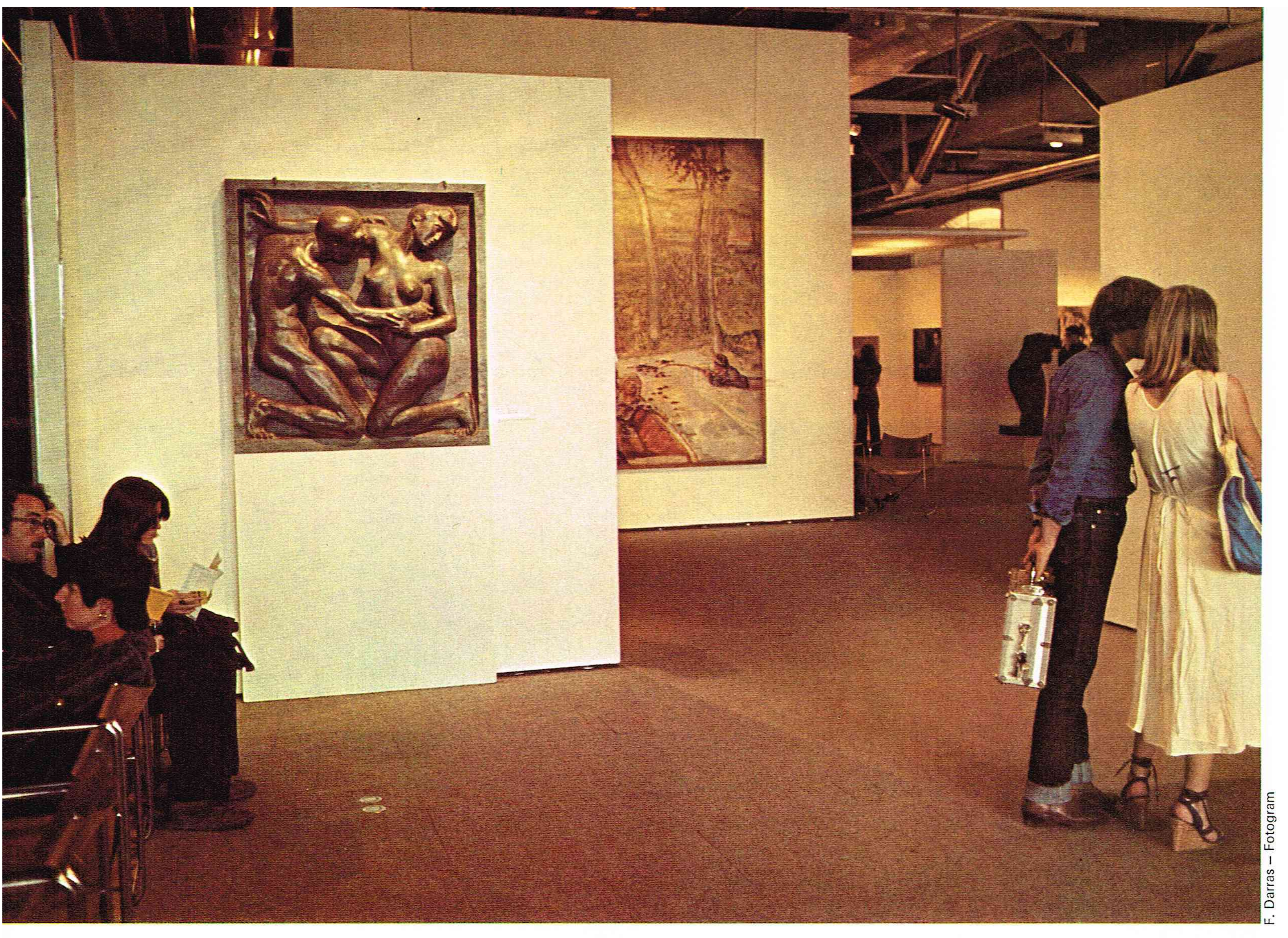
***▼ A gauche, la tendance en matière de loisirs réside de plus en plus dans un retour vers la nature et vers la revalorisation du travail manuel et de l'artisanat. A droite, potier artisanal.***



A. Held – Top



M. Delacour – Pitch



F. Darras – Fotogram

▲ *La visite d'un musée représente un loisir culturel non négligeable (ici, le musée national d'art moderne du centre Georges-Pompidou).*

se sont essentiellement tournés vers la pratique des sports de plein air. Le fort pourcentage des gens qui pratiquent régulièrement un sport peut s'expliquer par le taux d'urbanisation (75 %) ; le sport est le garant du bon équilibre de l'ensemble de la population. Cette évolution des États-Unis, que l'on considère comme en avance sur nous, laisse présager un engouement des Français pour les disciplines sportives.

Beaucoup de jeunes Français réfutent la société de consommation. Cette évolution se dessine déjà chez ceux qui ont de 25 à 35 ans, pour qui le travail n'est plus une finalité ; cette attitude aboutit à une promotion de l'homme, à un plus large accès à la culture et aux loisirs ; la progression de l'instruction (scolarisation à tout âge, de l'école maternelle à l'université du troisième âge), l'accroissement de la formation permanente en sont des éléments déterminants. Les projets des sociologues sont théoriquement très enrichissants ; il reste à savoir ce qu'il en sera dans la pratique.

Comment savoir si la promotion en faveur du travail manuel, si la demande réitérée des syndicats professionnels pour la diminution des heures d'école consacrées à l'enseignement général (afin de favoriser l'enseignement professionnel) ne vont pas à l'encontre de l'éducation des loisirs ? La spécialisation des hommes, à quelque niveau qu'elle se situe, fait régresser, semble-t-il, les possibilités d'épanouissement de la personnalité. Le développement récent du recyclage, de la formation permanente favorise l'accès à la culture ; mais leur spécification à des sujets techniques, leur nécessité grandissante d'efficacité économique rendra-t-elle, dans l'avenir, beaucoup de services aux hommes pour bien vivre leurs loisirs ?

En 1970, on pensait que l'on s'orientait vers une « cérébralisation » des masses ; dans le même temps, le développement de la télévision annihilait les possibilités de réaction des hommes. Ces deux éléments contradictoires ont donné naissance à l'honnête homme de loisirs actuel, mal dans sa peau, déraciné, solitaire. Dans le passé, les gens ont eu à lutter contre la tyrannie d'une personne physique bien définie ; l'homme se bat aujourd'hui contre des abstractions : administration déshumanisée, voisinage anonyme et indifférent ; ce contexte conditionne toute la recherche de l'individu en matière de loisirs : il veut avant tout sortir de sa solitude. L'espérance des associations d'accueil et d'animation du XX^e arrondissement de Paris est exemplaire : on rencontre un désir unanime de se retrouver dans un climat sain, d'être accueilli et non pas seulement pris en charge. Pour poursuivre avec cet exemple parisien, 75 % des habitants de Paris sont des transplantés, isolés au milieu de millions d'inconnus. La rencontre se fait au sein d'associations qui tendent à recréer une vie de quartier.

## *Loisirs et culture*

Pour Joffre Dumazedier, le loisir est « un élément central de la culture vécue par des millions de travailleurs ». De fait, les Français ressentent de plus en plus la nécessité d'approfondir les questions auxquelles ils sont quotidiennement confrontés. Mais qui sont ces personnes qui sont les plus désireuses d'acquérir une culture, et quels sujets les intéressent en priorité ? La nécessité d'une culture populaire est évidente, ne serait-ce que pour réduire l'écart culturel existant entre le public dit « cultivé » et l'ensemble des Français ; cette culture populaire fait partie des loisirs et est inhérente à la phase postindustrielle de notre société.

De nombreux sociologues prennent comme hypothèse de travail que la culture doit s'imposer aux individus dans le cadre de leurs loisirs ; nous rappelons pour notre part les différentes définitions exposées précédemment, et qui montraient combien les liens entre loisirs et liberté sont étroits.

Si la culture fait effectivement partie des loisirs, elle doit être le résultat d'un choix délibéré. C'est par choix que l'on perfectionne sa culture générale, et non par une nécessité inéluctable liée au développement du progrès technique, rendant nécessaire l'approche des techniques par la culture.

La culture conçue comme loisir, ce peut être la lecture, ou toute activité de création ou de compréhension d'une œuvre, la participation à une troupe de théâtre amateur, la visite des musées et expositions, la pratique (ou l'écoute) de la musique, la peinture ou la sculpture. L'extension de la culture, extension désirée par tous les responsables de la politique des loisirs, ne risque-t-elle pas d'aboutir à son nivellement par le bas, à la braderie d'une culture au rabais, afin qu'elle devienne accessible à tous ? « La civilisation des loisirs n'est pas le passage des loisirs raffinés d'une élite à des loisirs dévalués par la masse ; il n'y a pas de culture aristocratique face à une culture populaire mais une seule et unique qui est culture humaine » (Jean Fourastié, *Des loisirs, pour quoi faire ?*). Il est certain, et les chiffres (voir plus loin) le prouvent, que la vraie culture n'intéresse qu'une élite ; plutôt que de vulgariser la culture, plutôt que de la réserver à quelques privilégiés, il est nécessaire d'éduquer. Œuvre de longue haleine, que la structure scolaire actuelle ne semble pas favoriser.

Le livre est, dans tous les milieux, le symbole de la culture et du loisir. Posséder un beau livre est déjà en soi une source de jouissance esthétique, et la lecture apporte à l'homme actuel l'alibi qui lui manque dans sa vie quotidienne. La lecture est certainement un des loisirs les plus complets. On a souvent répété que les media — presse, télévision, radio — ont réduit le temps que les Français lui accordaient ; celle-ci a toujours été l'apanage d'une classe déterminée ; le rôle des media a été plutôt positif en ce domaine, puisqu'en faisant connaître les livres et leurs auteurs, ils ont donné au public le désir de les lire.

L'élévation générale du niveau d'instruction a incontestablement servi le goût de lire, et les nouvelles techniques ont fait baisser le prix des livres. Le succès du Livre de poche, créé en France en 1953, a été foudroyant. De plus, sa diffusion n'a plus été limitée aux librairies ou aux gares ; pour la première fois, des livres étaient mis en vente dans des grandes surfaces, magasins d'alimentation, stations d'essence, etc. Le livre allait au lecteur.

Les clubs de livres constituent également une nouveauté tendant à prouver que celui-ci se porte bien ; ils offrent par rapport aux librairies traditionnelles des innovations intéressantes. Le premier d'entre eux, le « Club français du livre », est né en 1946. Tous font amplement appel à la publicité et intéressent particulièrement les jeunes.

Enfin, de nombreuses bibliothèques se sont développées sur tout le territoire : municipales, nationales, scolaires, privées, associatives... Mais les bibliothèques ont une fréquentation moyenne, car les prestations offertes ne sont pas toujours de qualité (13 % des Français y sont inscrits).

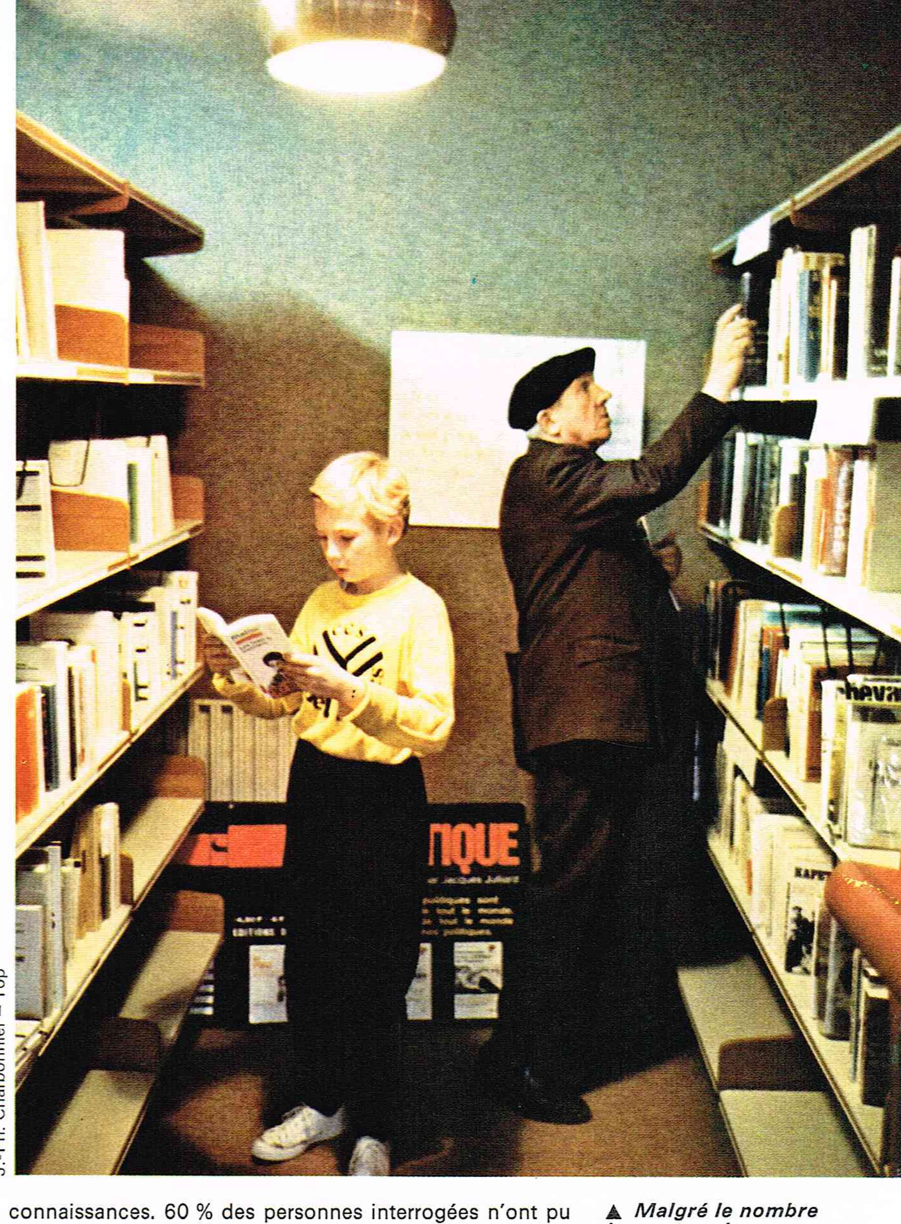
En 1977, 73 % des Français possédaient des livres ; ceux qui n'en possédaient aucun appartenaient au milieu rural, étaient des ouvriers non qualifiés, ou des retraités. Ceux qui lisent le plus sont les jeunes de 15 à 24 ans, ainsi que les cadres moyens, les cadres supérieurs et les membres des professions libérales.

En France, les romans policiers, d'espionnage ou de science-fiction ainsi que les romans contemporains attirent 50 % des lecteurs. 44 % des suffrages se portent sur la littérature classique et 42 % en faveur des livres d'histoire. En 1977, 14 % des Français avaient lu de 1 à 4 livres, 40 % de 5 à 49 livres, et 16 % plus de 50 livres dans l'année. 53 % des ouvriers et 42 % des agriculteurs lisent au moins un livre par an.

Les ouvrages documentaires sont ceux qui attirent le moins de lecteurs, alors que la littérature de fiction (romans, nouvelles) constitue de 60 à 80 % des prêts en bibliothèques. Les romans sont préférés par les femmes, les romans policiers, les livres techniques et les ouvrages scientifiques par les hommes. Malgré le développement que l'on peut constater, la pénétration du livre n'est pas manifeste dans de nombreux milieux. Le développement de la production littéraire, dont l'importance dans l'élévation du niveau culturel des Français est à souligner, ne suffit pas en lui-même. L'abondance de livres peut aussi quelquefois décourager d'éventuels acheteurs.

Joffre Dumazedier expose, dans *Vers une civilisation de loisirs,* les résultats d'une enquête effectuée par ses collaborateurs et lui-même dans la ville d'Annecy. Il résulte de cette étude que, dans la grande majorité des cas, la population est indifférente à l'acquisition des connaissances. 60 % des personnes interrogées n'ont pu désigner un réel centre d'intérêt sur douze sujets proposés. Seulement 25 % des sondés se sont révélés intéressés, et ont dégagé les deux sujets les plus motivants : leur métier et la géographie. Selon Joffre Dumazedier, dans tous les milieux sociaux, « une minorité d'individus manifeste un réel appétit de connaissances ». Néanmoins l'intérêt pour l'approfondissement des connaissances concernant le métier pratiqué semble réel : cela confirme ce que nous écrivions plus haut, à savoir que les loisirs sont donc le plus souvent choisis en fonction de l'activité professionnelle. 28 % des personnes interrogées sont intéressées par la géographie, 26 % par leur métier, 23 % par la médecine, 20 % par l'histoire, 19 % par le bricolage, 19 % par l'éducation ; l'art et la littérature viennent seulement en 11ᵉ place avec 18 % des suffrages, et les questions économiques et politiques au 13ᵉ rang. En règle générale, l'intérêt des individus se cristallise sur les questions d'ordre pratique et technique (médecine, éducation, bricolage).

Parmi les ouvriers, seulement 6,8 % de réponses positives concernent l'approfondissement des connaissances ; les centres d'intérêt se portent sur des questions à dominantes pratique et technique. Parmi les artisans et petits commerçants, 8,4 % de réponses sont positives ; chez les cadres moyens, le taux de réponses favorables à l'acquisition de connaissances est le plus fort : 14,4 % ; ceux-ci sont les plus éclectiques dans le choix de leurs centres d'intérêt, qui sont très divers. Il en est de même pour les industriels et les gros commerçants, mais à un degré moindre ; les artisans sont attirés par tout ce qui concerne leur métier, et ne dédaignent pas la culture générale. Les cadres supérieurs et professions libérales ignorent les questions techniques ; leur intérêt se porte vers l'économie politique et la psychologie. Enfin, les employés se passionnent pour les questions pratiques, le calcul et la culture générale. Comme on peut le constater, les centres d'intérêt sont divers selon la catégorie socio-professionnelle à laquelle on s'adresse ; on remarque que la différenciation culturelle est directement liée à la



J.-Ph. Charbonnier – Top

▲ *Malgré le nombre important de bibliothèques leur fréquentation reste moyenne (13 % seulement des Français y sont inscrits) Centre éducatif et culturel du Val d'Yerres - Essonne].*




G. Loucel – Fotogram

▲ *Lire un quotidien représente une détente pour 55 % des Français, mais cette activité, qui occupe de 30 mn à 1 heure, souffre de la concurrence de la télévision.*

▼ *Enfants lisant des magazines.*



G. Blondeau – Pitch

hiérarchie sociale et professionnelle. Dans tous les cas, chez les femmes comme chez les hommes, le centre d'intérêt le mieux perçu vient en prolongation de la profession exercée.

Lire un quotidien est, pour les Français, une habitude, et un délassement en fin de journée. 55 % d'entre eux environ lisent quotidiennement un journal, quelquefois deux (un quotidien d'audience nationale et un quotidien régional), 23 % n'en lisent jamais. Cette activité prend tous les jours de 30 minutes à 1 heure, et a souffert de la concurrence de la télévision (70 % des Français lisaient un quotidien en 1960). Les rubriques les plus lues sont les nouvelles locales (80 % de lecture régulière), les bandes dessinées et les faits divers. Les articles de politique générale ou documentaires viennent loin derrière.

Les citadins lisent en grande majorité au moins un hebdomadaire, leur récente prolifération permet une grande diversité dans les sujets traités (23 magazines féminins, 34 magazines illustrés, 5 magazines de télévision, 13 magazines de bricolage, 19 magazines sportifs).

La scolarité semble avoir une influence limitée sur la recherche culturelle de l'adulte ; en effet, les sujets traités à l'école ne correspondent pas aux centres d'intérêt des adultes. Alors que la scolarité amène les enfants à étudier des sujets abstraits, l'adulte se tourne vers des disciplines pratiques et techniques. Deux questions viennent alors à l'esprit :

— est-ce que le contenu des programmes scolaires est inadapté au goût de l'ensemble des Français ?

— est-ce la méthode utilisée pour présenter les sujets abstraits aux enfants qui est mauvaise, les prédisposant mal à l'égard de la culture pour le reste de leur vie ?

Quoi qu'il en soit, la scolarité n'a pas réussi à donner aux Français le goût de l'acquisition des connaissances ; les responsables de la culture doivent en tenir compte, ainsi que des aspirations des hommes vers la réflexion concernant les activités de la vie quotidienne.

## *La culture pour les Français*

Pour 60 % des Français, la culture, c'est la lecture (livres 41 %, périodiques 59 %) ; 8 % des personnes interrogées pensent que la culture est la conséquence de l'expérience ; les conférences, cours et cercles d'étude ne conduisent que dans une faible proportion (8 %) à un enrichissement des connaissances. Enfin, la conversation, les échanges avec d'autres personnes remportent 7 % des suffrages, et les méthodes audio-visuelles 5%. On peut déduire de ces quelques chiffres que, face à la culture collective, c'est la culture individuelle qui remporte le plus de succès.

Un dernier chiffre résume la situation de la culture populaire en France : les préoccupations artistiques et littéraires sont le fait des jeunes adultes jusqu'à quarante ans et sont proportionnellement cinq fois plus fortes chez les cadres que chez les ouvriers. Le maintien des disparités culturelles est incontestable, même si une certaine évolution se fait sentir (par autodidactisme) ; la démocratisation de la culture n'a pas abouti ; la faute en incombe au public lui-même et à la carence de politique globale en la matière (manque d'identification entre le loisir vécu et la culture). En fait, la culture en France est ressentie comme un enrichissement livresque, le plus souvent limité aux problèmes techniques et pratiques, et réservé à une catégorie sociale déterminée.

## *Le loisir quotidien*

La durée moyenne du loisir quotidien est de deux heures et demie, compte tenu du fait que certaines activités utiles, tel le bricolage, sont considérées comme un loisir par bon nombre de gens (60 %). De plus, on estime habituellement que les deux tiers des journées de repos (week-end, jours fériés) sont consacrés à la détente. C'est ainsi par exemple qu'on évalue la durée hebdomadaire de loisirs d'un ouvrier urbain de 20 à 30 heures. Ce potentiel important d'heures de disponibilité explique que notre civilisation puisse être appelée « civilisation des loisirs » ; cette affirmation est néanmoins contrebalancée par le fait suivant : le surmenage intellectuel du personnel d'encadrement, le surmenage nerveux de l'ensemble des



J.-M. Steinlein – Pitch



J. Delacour – Pitch

▲ *A gauche, certaines activités utiles et productives, comme le bricolage, sont assimilées à un loisir. A droite, les travaux manuels féminins, le tricot par exemple, représentent une forme non négligeable de semi-loisir.*

travailleurs rendent difficile une véritable détente. Depuis 1960, on a assisté à une légère diminution du temps de travail ; mais le temps réservé aux transports a augmenté et la durée des loisirs est restée constante.

Afin de considérer l'ensemble des loisirs quotidiennement pratiqués par les Français, il est utile de souligner une tendance nouvelle, liée à la stagnation du pouvoir d'achat des familles : le besoin de loisir se mêle à la nécessité économique ; de nombreuses activités manuelles progressent qui, tout en procurant une détente à ceux qui les pratiquent, leur permettent d'en retirer un revenu : bricolage, jardinage sont ressentis comme un loisir, alors qu'ils apportent un supplément de ressources, ou évitent des dépenses. Ce phénomène est lié au désir des Français d'augmenter leur revenu plutôt que d'accroître la durée de leurs loisirs. Les sondages d'opinion montrent que les salariés, et plus encore les commerçants et les artisans, préfèrent une augmentation de leur revenu à une diminution de leur temps de travail ; de plus, l'allongement du loisir quotidien et hebdomadaire recueille plus de suffrages que la prolongation des vacances. L'aménagement du temps de travail prend également une grande importance dans les revendications des salariés.

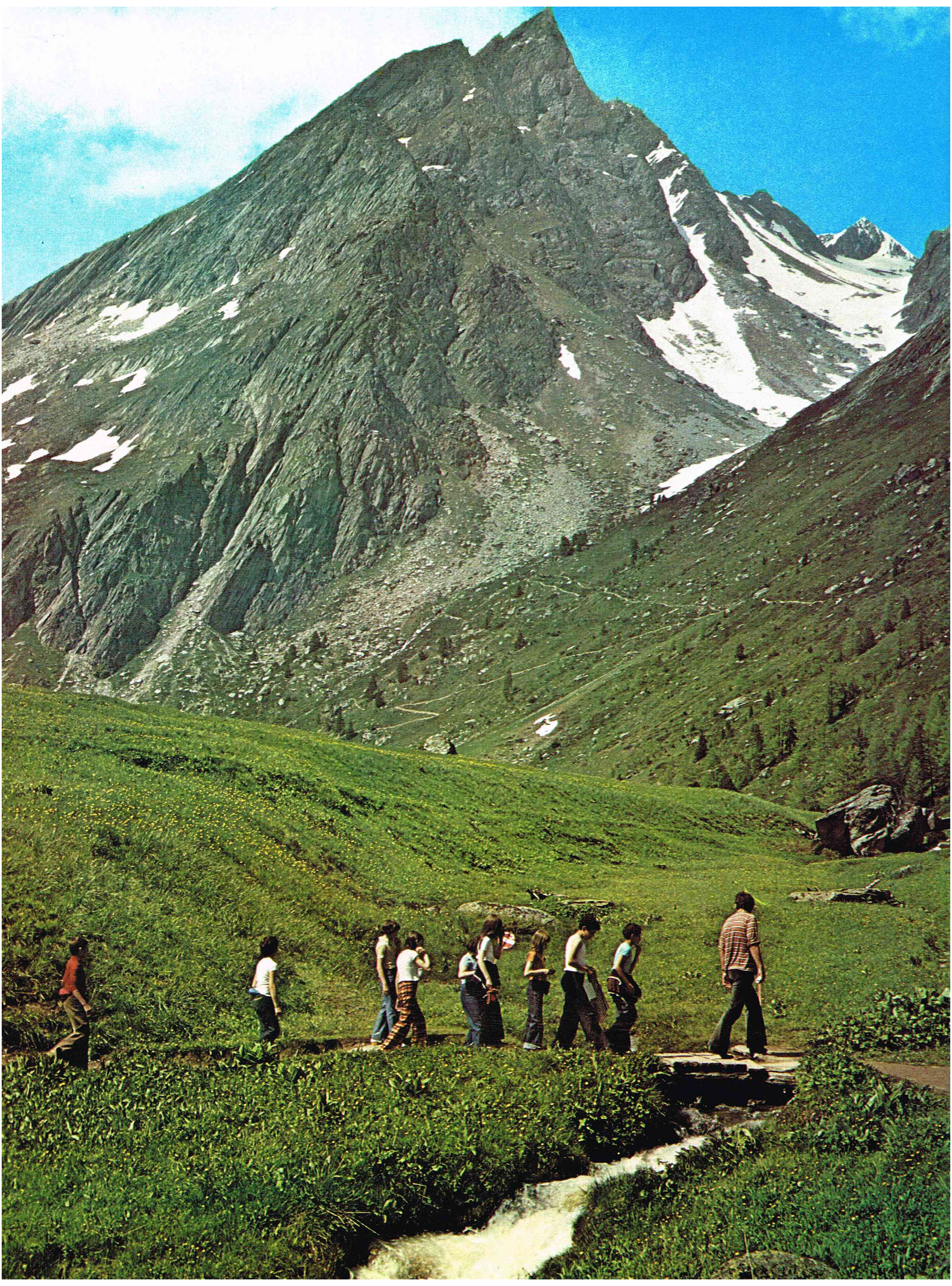
Les Français se livrent à de nombreuses activités de semi-loisirs : travaux manuels féminins, tels le tricot, la couture, la décoration ; le jardinage et le bricolage sont les activités les plus pratiquées par les hommes. La civilisation du produit manufacturé a engendré, paradoxalement, des bricoleurs et des inventeurs.

Les cadres sont particulièrement attirés par le jardinage, qui leur apporte une saine détente, et un changement total d'activité. Loin d'aller en s'atténuant, cette occupation se développe en liaison avec l'accroissement du nombre des maisons individuelles et des résidences secondaires (51 % des Français possèdent une maison individuelle). 30 000 résidences secondaires sont construites tous les ans en France, et un nombre au moins égal sont remises en état. 2 800 000 ménages disposent au sens large d'une résidence secondaire (propriété, location à l'année, utilisation régulière de la propriété de parents ou d'amis). Ces résidences se situent en moyenne à 138 km de la demeure principale. 50 % des résidences secondaires appartiennent à des Parisiens. 18,2 % des ménages possèdent une résidence secondaire (la moyenne parisienne s'élève à 42 %). Ce phénomène est très caractéristique, puisque la France est le pays qui en comporte le plus par habitant. Enfin, 3 ménages sur 4 sont propriétaires de leur résidence ; 30 % d'entre elles ne sont pas utilisées pendant les vacances d'été ; sur 100 résidences, 60 sont à la campagne, 17 à la mer, 11 à la montagne, et 12 à la ville.

Ce développement récent de la maison individuelle, en tant que demeure principale ou secondaire, est une des manifestations symptomatiques de l'emprise des loisirs sur notre société. En effet, pour jouir tranquillement de leur fin de journée ou de semaine, les travailleurs ont tendance à s'installer en dehors du centre des villes. « Le droit au loisir s'accompagne d'un droit au bonheur individuel pour chaque membre de la famille, dans la famille ou en dehors de la famille » (Fourastié, *Les loisirs, pour quoi faire ?*).

Mais le développement de l'achat du sol par des tiers rend difficile l'accès aux bois, aux champs et à divers lieux de promenade. Les villes s'étendent, les propriétés privées surgissent en tous endroits, limitant les possibilités de promenades ; les sentiers de grandes randonnées, dont la fréquentation s'accroît du fait de la mode du retour à la nature, sont en partie aménagés ; 500 000 amoureux de la nature s'y retrouvent, pour vivre au rythme de leurs pas ; 22 000 km de sentiers ont été balisés par le Comité national des sentiers de grande randonnée en 30 ans. 17 millions de journées de sentier en 1976 : un bilan encourageant pour les amateurs.

La randonnée a évolué, et le randonneur d'aujourd'hui a abandonné la tente pour profiter de diverses formules d'hébergement chez l'habitant. Mis en place il y a seu-



lement dix ans, les gîtes d'étape sont aujourd'hui au nombre de 150.

Une autre manifestation du retour à la nature de l'homme de l'âge du loisir réside dans le nombre de pêcheurs : plus de 4 millions actuellement.

De même, le développement de la pratique du poney a montré une évolution manifeste. L'équitation sur poney, introduite en France il y a seulement six ans, regroupe 135 clubs et 30 000 enfants. Cette véritable école maternelle de l'équitation répond à la tendance des parents à diversifier les loisirs de leurs enfants. Il y a parallèlement une démocratisation de la pratique du sport équestre.

### *Les loisirs et la famille*

Vivre ses loisirs, ce n'est plus aménager le temps en dehors du travail, *c'est aménager sa vie ;* d'où la nécessité d'une bonne appréhension des loisirs par l'ensemble des membres de la famille. Le loisir au sein de la cellule familiale se caractérise par deux tendances paradoxales : d'une part, la volonté des adolescents d'individualiser leurs loisirs, d'autre part l'interpénétration du monde des loisirs des enfants et de celui des parents. Ce sont souvent les jeunes qui ont fait connaître à leurs parents la nécessité de bien vivre leurs loisirs. L'indépendance des adolescents, des enfants même, s'est affirmée depuis quelques années ; c'est bien souvent le sujet de conflits, d'incompréhension, qui se manifestent en particulier à l'occasion de l'attitude des uns et des autres vis-à-vis de l'argent.

Les jeunes vivent leurs loisirs en groupe, en communion d'idée avec d'autres adolescents ; de ce fait, les loisirs de leurs parents leur paraissent stériles (télévision, tiercé...), trop fondés sur une société de consommation qu'ils rejettent. Tout cela évoque en eux la hiérarchie, qui représente à leurs yeux le monde des adultes et ses compromissions. Paradoxalement, cette résistance aux modes de loisirs des parents se traduit chez ces derniers par une stimulation bénéfique. L'industrie et le commerce n'ont pas tardé à profiter du potentiel offert par les loisirs des adolescents ; c'est ainsi que toute une presse spécialisée tend à enfermer les adolescents dans leur monde, celui des « copains », qui comprend son langage, son imagerie, ses signes de reconnaissance. Cette canalisation des besoins des jeunes contribue à les scléroser, à les confiner dans un monde idéal ; à côté de cela, la vie de famille leur paraît bien terne.

Actuellement, les loisirs des jeunes tournent essentiellement autour des cyclomoteurs et motos, qui leur octroient une impression d'indépendance (ce qui rend leurs parents particulièrement réticents) ; un adolescent trouve dans la pratique de la moto de nombreux plaisirs : celui de la vitesse, de la conduite dangereuse et grisante, du bruit, celui de dominer une mécanique puissante, et surtout la joie de partager l'ensemble de ces plaisirs avec d'autres jeunes. Les sorties, grande articulation des loisirs des jeunes, se heurtent encore quelquefois à l'incompréhension des parents ; elles répondent pourtant au désir profond de l'adolescent : se fondre dans la masse de ses pairs, leur ressembler, ne pas se singulariser par rapport à eux... attitude qui prédispose les adultes qu'ils deviendront à s'entasser sur des plages. La « bande » peut devenir, en cas de carence de la famille, le milieu d'élection de l'adolescent.

Divers sondages et études sociologiques montrent que les parents, contrairement aux enfants, vivent leurs loisirs individuellement, ou bien en tant que couple. La référence au groupe est beaucoup moins forte que chez les jeunes, bien qu'il y ait une évolution en ce sens. Les adultes conçoivent leurs loisirs comme couple, mais non comme parents, conséquence de l'indépendance croissante des enfants à leur égard. Dans un monde déshumanisant sur le plan du travail, des transports, des charges diverses, des relations avec les autres adultes et avec les enfants, les parents ressentent les loisirs comme la période où ils devraient enfin penser à eux, oublier totalement la famille, quelquefois même le conjoint.

Les hommes éprouvent, plus que les femmes, le désir de se retrouver entre eux, échappant ainsi à l'univers familial dominé par la femme. Celle-ci est plus attachée aux liens tissés par la famille, et ce jusque dans le choix de ses distractions ; l'apport des magazines féminins en ce domaine est symptomatique : l'identification avec la vie apparemment facile des images narcissiques qui y sont présentées lui fait ressentir plus lourdement la médiocrité de ses loisirs. Si certains magazines féminins

***◄ Page ci-contre, en 30 ans, 22 000 km de sentiers pédestres ont été balisés par le comité national des sentiers de grande randonnée. 500 000 amoureux de la nature les parcourent chaque année.***

J.-P. Ferrero – Pitch



J.-L. Chedal – Pitch

***◄ Plus de 4 millions de Français s'adonnent à la pêche.***



G. Marineau – Top

▲ *La « Bande » peut devenir le milieu d'élection de l'adolescent.*

ont tenté, dès les années 1970, de présenter à la femme la vie telle qu'elle est, leur courte apparition dans les kiosques à journaux suffit à prouver que les mentalités n'ont pas encore beaucoup évolué sur ce point. 26 % des femmes lisent régulièrement un magazine, et 20 % de temps en temps. Les femmes se reconnaissent volontiers moins exigeantes que les hommes en matière de loisirs.

En ville, 42 h 30 sont en moyenne consacrées toutes les semaines à l'économie ménagère dans les foyers sans enfants, et respectivement 66, 78 et 83 heures dans les ménages avec 1, 2 ou 3 enfants (d'après une étude d'A. Girard). La grande majorité de ces travaux incombe à la ménagère, même si le partage des tâches domestiques tend à entrer dans les mœurs.

Une femme mariée, sans enfant et sans profession, peut s'octroyer quatre heures de loisirs (ou semi-loisirs) par jour. En revanche, une femme qui a des enfants et une occupation professionnelle ne dispose le plus souvent que de moments très limités de liberté. Mais elle parvient tout de même à remplir ses devoirs familiaux, alors que ses heures de présence à la maison sont très réduites. L'écart entre les temps de présence de la femme au foyer et de la femme qui travaille, et la similitude des résultats obtenus posent le problème de l'organisation du travail ménager (qui entre en jeu lorsque la mère de famille travaille au dehors). C'est ainsi que, lorsqu'une femme au foyer française passe 5 heures à accomplir l'ensemble des tâches qui lui incombent, une ménagère américaine passe 1 h 30. L'écart de modernisation des équipements entre la France et les États-Unis n'explique pas tout. La principale différence réside dans la conception que la société française, et la femme au foyer elle-même, ont du rôle de la ménagère; les loisirs ne lui sont pas nécessaires, puisque de toute façon, « elle ne travaille pas ». Elle ne revendique pas comme un droit ce que les hommes ont obtenu depuis longtemps : la liberté. Le fait de prendre soin des enfants et du ménage est une fuite, et une justification de sa position de non-salariée. Si la femme au foyer ne sait pas toujours vivre ses loisirs, on assiste néanmoins à une évolution, dans les milieux aisés en particulier, comme l'appartenance à des clubs.

Pour la femme qui travaille, la notion de loisir est souvent étrangère à sa vie : assumer à la fois une occupation professionnelle, les tâches domestiques, passer de nombreuses heures chaque jour dans les transports ne lui laisse que peu de temps libre. La participation du mari et des enfants aux travaux ménagers est devenue indispensable, et entraîne pour la femme qui travaille une libération de ses charges familiales. Elle choisit alors de passer ses moments de liberté en compagnie de son mari, puisque la femme, plus que l'homme, vit ses loisirs en tant que membre d'un couple, et non en tant qu'individu isolé.

C'est en fonction de la manière dont ses parents vivent ses loisirs que le bébé, puis l'enfant, enfin l'adolescent, apprendra à assumer les siens; l'attitude plus ou moins positive des parents face aux distractions de leurs enfants influencera la recherche des futurs adultes qu'ils deviendront en matière de loisirs. L'important est que l'enfant ait, dès son plus jeune âge, la possibilité de choisir entre diverses formes de loisirs; il aura plus tard l'envie de les approfondir. La tendance actuelle est à la valorisation de la personnalité de l'enfant; de ce fait, les échanges sont plus fructueux entre parents et enfants, et prédisposent les premiers à partager les loisirs des seconds. Une enquête dévoile que les parents qui ont



M. Desjardins – Top

▶ *Les loisirs actuels de la jeunesse sont consacrés en grande partie à la pratique de la moto.*

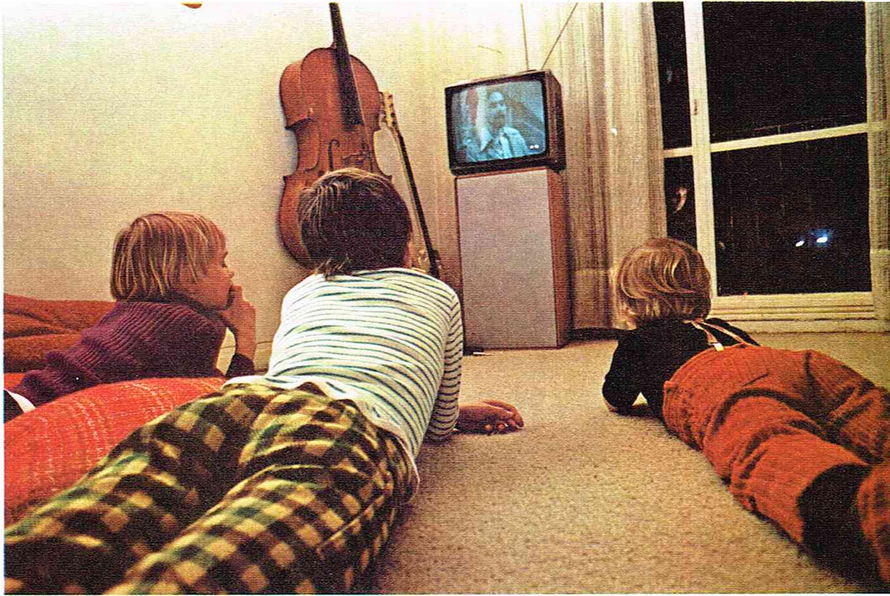
déclaré participer aux jeux de leurs enfants par plaisir étaient 14 fois plus nombreux que ceux qui voyaient dans cette contribution un devoir éducatif.

**La télévision et la radio**

Le loisir vécu en famille est avant tout la télévision. Sur les 2 h 30 de loisirs quotidiens dont disposent les Français, 2 h 20 sont en moyenne passées devant le petit écran; c'est dire l'importance de la télévision, l'impact que celle-ci peut avoir sur la vie des Français et leur culture. 82 % des Français possèdent un récepteur de télévision; en 1950, 297 télévisions étaient commercialisées; il existe, en 1977, un parc de 14 500 000 récepteurs. De 1960 à 1970, plus de la moitié des ménages s'en sont équipés. 76,8 % des Français regardent au moins une fois par jour la télévision.

La télévision est l'un des phénomènes-loisirs les plus typiques de notre époque; son développement a amené une uniformisation des attitudes en face des problèmes de la culture. Tous, de l'ingénieur au balayeur, ingurgitent régulièrement la même somme de connaissances, d'émotions, d'informations. La télévision a peut-être réussi là où la scolarisation a échoué : elle a amené une homogénéité que la culture n'a pas pu créer. La facilité offerte par le loisir à domicile évite au télespectateur d'avoir à choisir la manière dont se déroulera sa soirée. Il est si facile de pousser un bouton...

La télévision apporte à tous une information qu'il semblait invraisemblable de collationner quelques années avant son apparition; son action est par là positive, car elle offre une possibilité de connaissance à certaines personnes qui n'auraient jamais eu le désir ou la possibilité d'y accéder. Mais l'abondance des informations nuit à leur bonne compréhension; c'est ainsi que l'on constate que les personnes qui retirent le plus de bienfaits de la télévision sélectionnent soigneusement leurs programmes (c'est une forme de choix, par rapport à celles qui « consomment » en permanence les programmes télévisés). Néanmoins, la télévision, véhicule d'un enrichissement culturel, a participé beaucoup plus à la vulgarisation de l'art, de la littérature; elle a été l'instrument d'un nivellement culturel de la majorité des Français, nivellement qui s'effectue à un niveau parfois décourageant. Le fait de digérer au préalable l'ensemble des informations apportées, de faire appel exclusivement à la sensibilité du téléspectateur, a atrophié les possibilités de jugement du public.



Petzold – Pitch

▲ *La télévision, partie intégrante de la famille, restreint bien souvent les échanges entre mari et femme, et parents et enfants.*

Ainsi, l'action du petit écran peut être positive ou négative; elle est positive tant qu'elle est le véhicule nécessaire de l'information, de l'extension de la culture, de l'affinement de la sensibilité, ou tout simplement du divertissement pur. Mais son action peut être négative pour tout ce qui implique un conditionnement : dans la vie quotidienne, elle devient une habitude dont on pourrait difficilement se passer, et même dont l'absence laisse désemparé; elle annihile la faculté de choisir son loisir, et fait disparaître de l'horizon des téléspectateurs toutes les autres possibilités qui leur sont offertes; elle peut nuire en particulier au cinéma, au théâtre, aux rencontres entre amis ou membres de la famille. La télévision, qui reste le loisir le plus pratiqué en France, est aussi l'un de ceux qui sont les plus mal vécus; ses relations avec la culture restent le plus souvent lointaines, du fait de l'éventail de personnes auquel elle s'adresse. Il est difficile de faire comprendre une œuvre littéraire ou artistique à un public aussi divers que peut l'être celui de la télévision; la personnalisation nécessaire à l'éducation est impossible.

La télévision est par essence tyrannique; elle est là, dans la pièce de séjour, faisant partie intégrante de la famille. Elle sonne bien souvent le glas des échanges entre mari et femme, entre parents et enfants. A une époque où la famille ne se réunit plus, dans la grande majorité des cas, que pour le repas du soir, la télévision vient s'immiscer entre ceux qui sont réunis autour de la table. Après vingt-cinq ans de télévision, on constate que les comportements se sont peu modifiés en la matière, même si des ménages possédant un récepteur depuis de nombreuses années tendent à reprendre leur liberté, mais cette tendance n'est pas générale.

Si l'écoute de la télévision n'a pas tué le goût du bricolage, elle a fait d'autres victimes : le cinéma, la radio, les relations familiales; en ce qui concerne la lecture, 50 % des téléspectateurs déclarent lire moins depuis qu'ils ont un récepteur; mais on constate généralement qu'au bout d'un certain temps, les émissions de vulgarisation littéraire redonnent aux Français le goût de lire; en un mot, si on lit moins, on lit mieux. L'introduction de la télévision en couleurs dans un nombre croissant de foyers a permis le franchissement d'un nouveau palier, et a entraîné un regain d'intérêt pour le petit écran. L'influence de la télévision s'affirme, et avec elle sa responsabilité sociale. Cela conduit à souhaiter qu'une politique concertée de recherche soit mise en place, pour aboutir à une meilleure programmation, à partir de données scientifiques rigoureuses (sondages sérieux sur la composition socioprofessionnelle des téléspectateurs, sur leurs goûts conscients et inconscients, sur la meilleure manière de les divertir ou de leur faire apprécier une forme raffinée de culture). Il sera difficile d'obtenir que la télévision ne soit plus le véhicule de l'uniformisation des aspirations humaines dans une gamme médiocre : « La médiocrité est élevée au rang d'une valeur. » La



J.-P. Benier – Parimage

◀ *Même si le partage du travail domestique tend à entrer dans les mœurs, la grande majorité des travaux ménagers incombe à la femme.*


P. Hinous – Top

▲ ***Les fabricants se sont penchés sur la conception du jouet pour répondre aux désirs de l'enfant suivant son âge.***

télévision, plutôt que de stimuler la démarche mentale de la population, la freine, et impose à tous la conservation de modèles traditionnels en de nombreux domaines.

C'est dire beaucoup de mal d'un mode de loisir choisi, ou plutôt « subi », par la très grande majorité de la population. Mais il convient de reconnaître ses mérites : elle aide à vivre les personnes isolées et âgées. Les chiffres suivants résument l'attitude des téléspectateurs français : 20 % d'entre eux estiment qu'ils ont approfondi leur culture, 19 % qu'ils se sont divertis, 29 % qu'ils se sont à la fois cultivés et divertis, et 16 % qu'ils se sont ennuyés. Mais ils ont le plus souvent continué à passer leurs soirées, confortablement installés dans leur fauteuil, les yeux rivés sur le petit écran.

A l'origine réservée aux personnes aisées et cultivées, la télévision est devenue le moyen de divertissement de ceux pour qui le mot loisir n'a pas de signification propre. De plus en plus, elle est reniée par tous ceux qui accordent leur temps à d'autres formes de loisirs.

La radio a tout d'abord souffert de la concurrence de la télévision. Mais il s'est très vite avéré que télévision et radio étaient complémentaires, et elles ont trouvé toutes deux leurs places dans notre société.

La durée hebdomadaire d'écoute de la radio avoisine les 17 heures; les plus fidèles auditrices sont les femmes inactives de moins de 60 ans. 93 % des foyers sont équipés; 71 % des Français écoutent la radio tous les jours. Les jeunes écoutent davantage la radio que les adultes, et les milieux cultivés plus que les milieux modestes (plus attirés par la télévision).

Ces loisirs s'imposent à la famille : la radio, la télévision, la chaîne haute fidélité, une fois intégrés dans le contexte familial, dont l'utilisation est quotidienne et systématique, ne font plus intervenir la notion de choix.

**Les jeux**

Les loisirs en famille, ce sont aussi les jeux; les jeunes en retrouvent le goût, peut-être parce qu'ils favorisent les échanges de groupe. Actuellement, 68 % des Français possèdent un ou plusieurs jeux de société (dont 20 % les échecs). En 1976, on a vendu 330 000 *Monopoly* et 500 000 *Scrabble*.

L'attitude des parents à l'égard des jouets des enfants s'est profondément modifiée; dans le même temps que l'on reconnaissait à tous la nécessité de vivre les loisirs à sa guise, on reconnaissait à l'enfant le droit de posséder ses jouets, qui deviennent éléments de son éducation. On sait aujourd'hui que les jouets permettent à l'enfant de développer son intelligence et sa sensibilité au monde extérieur et ainsi d'apprendre à vivre.

Comme Montaigne, il convient de considérer les jeux « comme les plus sérieuses actions des enfants ». C'est pourquoi les fabricants se sont penchés sur la conception du jouet, pour répondre aux désirs de l'enfant. On a pu associer chaque jouet à l'âge de l'enfant; la taille et la couleur sont des éléments à ne pas négliger. On s'est aperçu aussi que le jouet préféré de l'enfant était révélateur de son caractère.

Tout comme l'ensemble des produits de loisirs, le jouet a suivi la quête de la société vers une plus grande communion avec la nature; c'est ainsi que l'on voit renaître dans les magasins de jouets les vieux jeux en bois.

Le jeu, qu'il soit le fait de l'adulte ou de l'enfant, se traduit par un certain nombre de caractéristiques (Roger Caillois, *les Jeux et les Hommes*), qui sont :

— la liberté : le jeu perd sa nature de divertissement dès lors qu'une obligation, de quelque nature qu'elle soit, y est mêlée;

— l'incertitude du déroulement, du résultat à obtenir;

— l'improductivité : le jeu ne crée pas de biens;

— les lois qui régissent un jeu sont différentes des règles habituelles de la vie quotidienne;

— le jeu est fictif, il est accompagné « d'une conscience spécifique de réalité seconde ou de franche irréalité par rapport à la vie courante ».

Chaque ménage français a acheté en moyenne pour 146 francs de jouets par enfant en 1977 et y consacre 6 % de son budget-loisir. Chaque année apporte son lot de jeux et jouets nouveaux; les jeux éducatifs sont les plus recherchés par les familles (15 % des ventes); viennent ensuite les jeux de société (12 %), les poupées (10 %), les animaux en peluche (6 %), les trains et circuits auto (4,5 %), les vélos (3 %), les jouets musicaux (2 %). On remarque la persistance, en bonne place, des jeux éducatifs dont chaque famille se fait un devoir de doter ses enfants. D'autre part, l'électronique s'introduit progressivement dans les jeux pour enfants et grandes personnes.

Jeu d'adulte comme jeu d'enfant apporte à l'individu qui le pratique un délassement réel; l'enfant qui sait jouer sera un adulte qui saura assumer ses loisirs.

Les jeux de hasard et les jeux d'argent remportent un succès croissant : la fréquentation des hippodromes va en s'amplifiant; autrefois réservées à une élite aristocratique, les courses sont devenues un loisir populaire. Le tiercé et sa formidable percée en sont l'une des manifestations les plus probantes. Créé en 1954 par le Pari mutuel urbain, 177 000 bordereaux étaient enregistrés en moyenne tous les dimanches cette année-là; vingt ans plus tard, plus de 12 millions de bordereaux sont perforés chaque semaine; 7 millions de joueurs misent 80 millions de francs tous les dimanches (ce n'est qu'une moyenne, des montants beaucoup plus importants sont enregistrés les jours de prix importants). Pour relancer la Loterie nationale et concurrencer le tiercé, le Loto a été mis en place au mois de mai 1976. Un an après son lancement, 5 800 000 bulletins étaient comptabilisés en une seule semaine.

A la télévision, à la radio, dans les journaux, les incitations aux jeux et concours sont permanentes. Ce succès récent des jeux de hasard est lié à trois notions : le jeu répond à la nécessité pour l'homme de s'évader de son univers quotidien en rêvant — à bon compte — aux gains fabuleux de certains « veinards »; une semaine d'espoir, d'évasion et de rêve pour quelques francs.

Le jeu est devenu une exigence permanente liée à la nécessité du loisir. Mais le jeu va quelquefois si loin qu'il arrive que « la vie jouée se développe au détriment de la vie engagée ».

***Les spectacles***

Le **cinéma** est la 73$^{e}$ industrie française par son importance. Le cinéma mondial traverse une crise dont il est difficile de dire si elle est structurelle ou conjoncturelle; après une période faste correspondant aux années d'avant-guerre (débuts du cinéma parlant) et d'après-guerre, le cinéma connaît une baisse sensible de fréquentation. C'est ainsi qu'en 1957, les Français allaient 9,2 fois par an au cinéma, contre 8 fois en 1960 et 3,3 fois en 1976.

51 % des Français vont au moins une fois par an au cinéma. En 1960, 360 millions de places de cinéma ont été vendues, et en 1976 170 millions; la France se situe au 28$^{e}$ rang mondial pour la fréquentation moyenne par habitant.

Deux raisons à cette désaffection envers le cinéma : l'implantation croissante de la télévision, à un moindre degré la fatigue après une journée de travail, et le temps

de transport pour se rendre au cinéma (disparition des salles de quartier). En ce qui concerne la concurrence de la télévision, des experts américains ont observé que 2 % de récepteurs de télévision en plus sur une zone donnée faisait baisser la fréquentation des salles environnantes de 1 à 10 %.

30 % du public de cinéma déclare se fier aux critiques; ces personnes vont donc voir un film précis, dont elles connaissent le thème principal et la valeur artistique. Deux attitudes différentes sont à remarquer : celle des spectateurs actifs, qui acceptent les nouveautés de tout ordre et qui sont en état de totale disponibilité pour recevoir pleinement le film proposé; ils fréquentent volontiers les ciné-clubs, dont les projections sont suivies de débats. Les autres sont les spectateurs passifs, qui n'attendent de la séance de cinéma qu'un pur divertissement.

Il est plus difficile de cerner les goûts du public, liés à l'environnement culturel de chaque individu. Plusieurs motivations expliquent le désir de se rendre au cinéma :

— C'est une libération vis-à-vis de la routine quotidienne, même s'il n'offre pas forcément des prestations différentes de celles de la télévision; plus que la lecture, il offre la possibilité d'une évasion totale, l'image étant plus mobilisatrice. On va au cinéma pour tout oublier pendant une heure et demie ou deux heures, et l'on y parvient plus facilement qu'avec la télévision.

— C'est un passe-temps, un véritable loisir-détente, où l'effort à fournir est réduit.

— Beaucoup de spectateurs recherchent, dans le cinéma comme dans la lecture, la possibilité de nourrir leurs rêves futurs; l'identification aux héros leur permet de se reporter à une vie imaginaire plus passionnante que la routine journalière. Le succès des films dits commerciaux le prouve, c'est-à-dire ceux qui utilisent les thèmes chers à toutes les époques et à tous les hommes : l'amour, l'érotisme, le luxe, la violence, l'aventure, le rire.

— L'engouement pour les derniers films comiques prouve que les Français ont besoin de gaieté, et qu'ils attendent du cinéma une distraction, un divertissement. Les films qui font appel à l'absurde ou à l'humour noir connaissent un regain de popularité. Le réalisme de l'œuvre est un élément important de sa réussite, dans la mesure où une situation ou une personnalité trop irréelles annihilent les possibilités d'identification du spectateur avec le héros. La réalité doit être embellie, mais dans une limite raisonnable; c'est l'une des recettes du succès d'un film en cette fin de XXe siècle.

— Sortir est une fête, ce qui donne au cinéma une légère supériorité par rapport à la télévision. Assister à la projection d'un film en commun est toujours plus exaltant que de le regarder seul chez soi. Il suffit pour prouver ce fait de regarder à la télévision un film déjà vu au cinéma; l'impression que l'on ressent est différente, l'attention qu'on lui réserve moins totale; l'adhésion de tout l'être n'est pas aussi exclusive.

Quelles sont les exigences des spectateurs en matière de cinéma? La majorité des spectateurs mettent l'accent non sur la qualité esthétique d'un film, sur la recherche effectuée par le metteur en scène, sur le travail des acteurs, mais sur l'action, sur l'intérêt dramatique. La vérité du cinéma en tant qu'art n'est ressentie que par un nombre restreint de personnes; le charme de l'image ou de la musique agit plus sur le spectateur que l'innovation ou la recherche d'effets nouveaux. Le cinéma, qui reste le plus souvent l'occasion d'une sortie familiale, est aimé du public dans la mesure où il présente des films de bonne qualité mais d'accès facile, qui lui apportent une distraction et une évasion réelle.

De 1947 à 1951, les spectacles de **théâtre**, de **ballets**, **concerts** et **conférences** gagnaient 100 millions d'adeptes, alors que le cinéma en perdait déjà 60 millions. Depuis cette date, le phénomène s'est stabilisé; la naissance, après la guerre, du théâtre d'avant-garde et toutes les recherches en la matière ont été très contestées par le public, qui y voyait de simples jeux intellectuels stériles.

Actuellement, 12 % des Français vont une fois par an au théâtre, 2,6 % à l'opéra, 7,8 % fréquentent les nombreux festivals qui animent les régions touristiques.

42 Français sur 100 visitent au moins un monument par an, 27 un musée, 18 une exposition.



B. Asset – Pitch

▲ *La grande salle du Palais des Congrès de la Porte Maillot à Paris, où se déroulent ballets, pièces de théâtre et concerts.*

En revanche, 47 % des Français vont, au moins une fois par an, s'amuser dans une **fête foraine**, 25 % sont allés danser dans un **bal public**, 24 % ont assisté à un match sportif et 10 % à une séance de cirque. La fréquentation des fêtes foraines et des bals publics est principalement le fait des milieux ruraux, pour lesquels un mouvement d'organisation des loisirs s'était amorcé en 1936-37. Ces premières tentatives ont avorté du fait de la guerre, et les loisirs à la campagne se limitent le plus souvent à la télévision, aux fêtes de village ou aux réunions de famille. C'est à la campagne que se maintient surtout la notion de fête; qu'elle soit la réunion d'amis ou de membres de la famille, la fête est passée de mode dans les milieux urbains.

La principale occasion de fête est Noël; si celle-ci s'est le plus souvent vidée de son contenu religieux, elle reste, dans tous les milieux, la célébration de la famille. La fête des mères et la fête des pères sont l'objet d'une exploitation commerciale systématique. Leur succès symbolise néanmoins le désir ressenti par un nombre croissant d'un renforcement des liens familiaux, et la volonté renaissante de se regrouper en famille.

▼ *Producteur important, la France ne se situe qu'au 28e rang mondial pour la fréquentation moyenne par habitant des cinémas.*




R. Poinot – Top




A. Valtat – Top

▲ *Le cyclotourisme, alliant le plaisir du sport à la découverte des paysages, connaît un regain de succès depuis quelques années.*

## Le loisir, ou la fête du corps

11 % des Français font régulièrement de la gymnastique. 9 % pratiquent un sport individuel d'une manière continue, et 7 % un sport d'équipe. 50 % des Français font de l'exercice : de la marche à pied à la compétition. Une évolution favorable se fait sentir, en faveur du développement du sport en liaison avec le besoin nouveau de vie « naturelle ». Après la frénésie des années 1960 pour des loisirs toujours plus sophistiqués, nous redécouvrons les joies du sport. Depuis 1946, les diverses fédérations voient croître leurs effectifs d'affiliés de 5 % par an.

Qu'ils soient ou non motivés par l'esprit de compétition, les Français pratiquent des sports très divers : du canoë-kayak (dont la fédération regroupe 12 000 licenciés) à la chasse (plusieurs millions de chasseurs). Le cyclotourisme, activité de plein air qui allie le plaisir du sport à l'appréciation des lieux visités, connaît un regain de succès depuis quelques années. Un randonneur moyen parcourt annuellement 8 à 10 000 km, et 28 % des Français font de la bicyclette d'une manière régulière. Le football est le sport français le plus pratiqué : 18 000 associations regroupent 1 300 000 joueurs ; le judo, dont la propagation en France est récente, compte 600 000 pratiquants.

On compte, dans l'hexagone, un pêcheur pour douze habitants (contre 1 pour 7 aux États-Unis et 1 pour 700 en Allemagne fédérale). Chacun d'entre eux dispose de 70 mètres de berges, et de 500 m² de plan d'eau, et pêche en moyenne 2 kg de poisson par saison.

Les sports autrefois réservés à une élite, navigation de plaisance, tennis, équitation, connaissent aujourd'hui un fort développement ; 380 000 licenciés pour le tennis, 387 000 bateaux de plaisance de longueur égale ou supérieure à 2,5 m (contre 575 000 en Grande-Bretagne). La voile attire de nombreuses personnes (73 000 affiliés).

Si la pratique des sports tend à s'intensifier, l'assistance aux rencontres sportives a pâti des effets de la télévision au cours des années 1960. Malgré un regain d'intérêt dû aux victoires internationales, les clubs sportifs doivent utiliser différents artifices pour attirer les supporters : « achats » de vedettes de la discipline, occultage des rétransmissions des rencontres dans les régions concernées, appel à la publicité de marques, etc.

Le développement du sport a été très rapide. A la fin du XIXᵉ siècle, seuls les jeunes nantis pratiquaient un sport ; aujourd'hui, si le pourcentage des pratiquants réguliers reste faible, chacun a tout de même la possibilité de choisir une discipline sportive.

Avec le nombre des pratiquants s'est développé celui des supporters ; la télévision a creusé leurs rangs, mais certains clubs de football ou de rugby continuent à soulever l'enthousiasme des foules ; les supporters de Marseille ou Saint-Étienne, par exemple, font corps avec l'équipe et ses dirigeants. Les déplacements de l'équipe sont suivis par des milliers de personnes ; une véritable exploitation commerciale se greffe sur ce phénomène (journaux, prix des places, vente de gadgets ou de tee-shirts). Le moindre événement ou scandale prend de l'importance et divise les familles intéressées. Cette nécessaire évasion constitue une vie parallèle, au sein de laquelle joueurs et supporters sont mêlés, sans distinction de rang social.



F. Jalain – Top

▶ *Vue nocturne de la Foire du Trône à Paris. 47 % des Français fréquente au moins une fois par an une fête foraine.*

***Le sport, pratiqué par tous ?***

A l'école primaire, six heures hebdomadaires doivent être réservées à l'éducation physique et sportive, dans le cadre du tiers temps pédagogique. Cette éducation est assurée par les instituteurs et les institutrices, dans les classes, au même titre que les autres disciplines (arrêté du 6 août 1969 instituant le tiers temps pédagogique à l'école primaire). On sait quelle a été l'efficacité de cette mesure, qui impose à des professeurs l'enseignement de l'éducation physique ; bien sûr, depuis cette date, 37 % des enseignants ont bénéficié soit de la visite des conseillers pédagogiques départementaux ou de circonscriptions, soit des journées d'information organisées à leur intention. Le résultat de cette politique est que, de l'aveu même du secrétariat à la Jeunesse et aux Sports, la durée moyenne des cours d'éducation physique à l'école primaire est de 2 h 55 mn par semaine, soit moins de la moitié de la durée prévue en 1969. L'évolution est notable (2 h 10 mn en 1972), mais l'insuffisance des horaires et des installations subsiste.

Dans l'enseignement secondaire, trois heures d'éducation physique et sportive sont obligatoires dans le premier cycle, deux heures dans le second cycle. Cet horaire, insuffisant en lui-même, n'est pas toujours respecté dans son intégralité ; les équipements sportifs scolaires existent, mais leur utilisation n'est pas toujours rationnelle.

L'ASSU, Association du sport scolaire et universitaire, a été mise en place après la guerre ; depuis cette date, le nombre des affiliés a été multiplié par 18. Son objet est d'organiser et de développer le sport amateur de compétition pour les élèves et les étudiants.

Le brevet sportif populaire stimule également l'esprit de compétition ; 530 000 personnes l'avaient obtenu en 1947, 1 400 000 en 1975.

En dehors des diverses structures citées, et dans le cadre d'une nouvelle orientation sportive définie en 1971, les centres d'animation sportive (CAS) sont des organismes destinés à assurer la continuité entre la formation de base indispensable, donnée à l'école, et une pratique sportive diversifiée répondant aux goûts et aux aptitudes de chacun, susceptibles de se poursuivre sous forme de compétition, ou sous forme de loisir sportif. Il y avait, en 1976, 505 CAS, fréquentés par plus de 500 000 enfants.

47 000 terrains de plein air existaient en France à la fin de 1974, 10 400 installations sportives couvertes, 2 488 piscines, 85 patinoires, 212 frontons, 11 tremplins de ski, 346 stands de tir, 83 centres de tir à l'arc, 650 centres équestres, 46 pistes cyclistes, 15 circuits automobiles...

## Les loisirs en commun

Les loisirs sont difficiles à pratiquer là où règne l'anonymat : grandes villes, cités-dortoirs, campagnes isolées. L'absence de lieux naturels de rencontre dans les villes, par exemple des squares avec bancs, rend difficile la communication entre les individus, et favorise la naissance et l'épanouissement des associations en tout genre. C'est ainsi que 28 % des Français sont membres d'une association. 9,9 % appartiennent à une association sportive (1 400 à des associations de jeunesse et d'éducation populaire en France en 1976), 3,6 % à un syndicat, 3,2 % à un groupement culturel, 2,3 % à une association artistique, 2,2 % à une association de parents d'élèves, 2 % à un mouvement religieux, 0,9 % à des groupements d'information sur l'éducation des enfants, 0,7 % à un parti politique ; la fréquentation moyenne de ces « clubs » est d'une fois par mois.

On remarque le caractère masculin de la pratique associative, qui par ailleurs décroît avec l'âge, notamment à l'occasion du mariage. Elle est plus répandue chez les cadres moyens et supérieurs, les professions libérales, les agriculteurs ; elle est rare chez les ouvriers spécialisés et les manœuvres. La principale caractéristique des membres de ces diverses associations est leur niveau d'étude : beaucoup de bacheliers et de diplômés de l'enseignement supérieur. Les agriculteurs se regroupent dans leurs syndicats, les cadres supérieurs dans les clubs culturels, les cadres moyens dans les associations sportives.

L'intérêt pour les loisirs en commun, et plus particulièrement les loisirs d'animation, se manifeste de plus en plus : l'isolement des individus dans les villes-dortoirs, la disparition de la vie de quartier dans les grandes villes font que les centres d'animation deviennent l'*oxygène* de la vie de tous. Ils redonnent à la ville une taille humaine.



D. Goldberg – Camera-Press – Parimage

▲ ***Même si la télévision a diminué le nombre des supporters sportifs, certains matches de football continuent à soulever l'enthousiasme des foules.***

L'homme membre d'un club est collectivement valorisé, alors qu'individuellement il est souvent timide, ou conscient de ses carences. D'où le succès de ces regroupements parfois antinaturels. Lorsqu'il se crée un endroit où les individus peuvent se rencontrer, le goût de la fête renaît ; cela se fait parfois spontanément, comme ce fut le cas avant la démolition des Halles parisiennes. Les sociologues et animateurs insistent sur le fait que ceux qui se rendent en ces lieux sont disponibles, prêts à accueillir toutes les suggestions en matière de loisirs. Le but des professionnels du loisir est de compenser par l'animation les carences de la vie quotidienne. Au début, un schéma était imposé aux adhérents des diverses associations telles que les Maisons de jeunes et de la culture (MJC), les établissements d'accueil pour le troisième âge et autres structures d'animation. Les responsables de ces associations se sont très vite aperçus que deux erreurs fondamentales étaient commises : d'une part, vouloir à tout prix faire le bonheur des autres malgré eux, l'échec relatif de nombreuses MJC en est la preuve ; d'autre part, il était irréaliste et inhumain de séparer les individus selon leur âge, ce qui a conduit de nombreuses associations culturelles et de loisirs à se transformer en Maisons pour tous, qui, plutôt que d'imposer un certain nombre d'activités, les proposent à leurs adhérents : des techniciens sont à la disposition des amateurs qui désirent apprendre la poterie, le théâtre ou la photo. En offrant plutôt des suggestions et aides techniques que des cadres rigides, ces Maisons pour tous permettent en outre aux diverses générations de se rencontrer, aux enfants de côtoyer des personnes âgées, à tous de sortir de leurs « ghettos » personnels. En fait, selon le mot d'un animateur : « Les animateurs ne devraient pas exister » ; ils sont le fruit de l'impossibilité des gens à s'assumer jusque dans leurs loisirs.

Dans leurs formes améliorées, les organisations éducatives ou récréatives représentent la forme la plus originale des loisirs de l'homme de la fin du XXᵉ siècle. Elles ont remplacé les patronages et autres œuvres à but confessionnel, et s'étendent à tous les âges et à toutes les couches de la société ; elles sont liées à l'urbanisation croissante et à la civilisation postindustrielle, dont elles veulent être des palliatifs.

Le danger de telles organisations est que l'individu, s'y sentant en confiance, ait de la peine à accepter l'arrivée d'autres personnes dans le clan formé, ainsi que l'ouverture à d'autres formes de loisirs ou de culture. Cela conduit à une sclérose de la personnalité et à l'uniformisation des goûts et des réactions. Mais leur effet bénéfique sur le plan de l'organisation des loisirs équilibre les inconvénients évoqués.

# Quelques adresses utiles

## Associations sportives et culturelles

**Directions départementales de la jeunesse et des sports**
A Paris : 17, bd Morland - 75181 Paris-Cédex 04.
Tél. 277-15-50 - Postes : 30-58 et 30-59.

En Province : Préfecture du département.

**Centre d'information et de documentation jeunesse (C.I.D.J.)**
Délégation générale : 101, quai Branly - 75740 Paris-Cédex 15. Tél. 566-40-20.

**Fédération des maisons des jeunes et de la culture (F.M.J.C.)**
54, bd des Batignolles - 75017 Paris. Tél. 387-66-83.

**Union régionale des maisons des jeunes et de la culture (U.N.I.R.E.G.)**
168 *bis*, rue Cardinet - 75017 Paris. Tél. 627-79-74.

**Fédération des centres sociaux et socio-culturels de France**
4, bd de Strasbourg - 75010 Paris. Tél. 206-27-86/87-88.

**Fédération française de camping et de caravanning**
78, rue de Rivoli - 75004 Paris. Tél. 272-84-08.

**Touring Club de France**
65, av. de la Grande-Armée - 75782 Paris-Cédex 16. Tél. 502-14-00.

**Association française des stations vertes de vacances**
Préfecture de la Sarthe - 72000 Le Mans.

**Syndicat national des agences de voyages**
6, rue Villaret-de-Joyeuse - 75017 Paris. Tél. 380-41-72.

**Fédération nationale des syndicats d'initiative et offices de tourisme**
127, Champs-Élysées - 75008 Paris. Tél. 720-43-06.

## Activités diverses

**Bibliothèques et discothèques**
Mairies des communes.

**Conservatoires de musique**
Mairies des communes.

**Conservatoires d'art dramatique**
Mairies des communes.

**Maison des métiers d'art français**
28, rue du Bac - 75007 Paris. Tél. 261-58-54.

**Centre international d'art et d'artisanat**
86-90, passage Brady - 75010 Paris. Tél. 236-59-10.

**La Vie créatrice**
9, place St-Liphard - 45130 Meung-sur-Loire.

**Centre culturel de la fédération française de diffusion artistique et culturelle**
Aiglun 04000 Digne.

**Association francaise des chasseurs de son**
19, rue des Bernardins - 75006 Paris.

**Association nationale des clubs aérospatiaux**
Palais de la Découverte. Av. Franklin-Roosevelt - 75008 Paris.

**Fédération française d'aéromodélisme**
52, rue Galilée - 75008 Paris. Tél. 720-52-32.

**Union nationale des groupes folkloriques**
72, rue du Général-Leclerc - 94410 St-Maurice.

**Fédération française de danse d'art chorégraphique et d'expression corporelle**
3, rue St-Charles - 75015 Paris.

**Fédération française des échecs**
105, bd de Sébastopol - 75002 Paris.

**Fédération française de scrabble**
87, av. Jean-Baptiste Clément - 92100 Boulogne-Billancourt.

**Fédération nationale des sociétés photographiques de France**
9, rue Faraday - 75017 Paris. Tél. 924-64-11.

**Association des photographes animaliers**
30, rue St-Marc - 75009 Paris.

**Association sportive de la chasse photographique française**
60, rue des Archives - 75003 Paris.

**Fédération nationale de yoga**
3, rue Aubriot - 75004 Paris.

G. Schachmes - Parimage

## *Les Français et leurs vacances*

Partir en vacances est devenu, en 1936, un droit. C'est aussi une nécessité, du fait du développement de l'urbanisation créant un besoin d'évasion (les agriculteurs ressentent moins que les autres le besoin de partir). 500 000 personnes sont parties en vacances en 1936, 2 millions en 1937 ; après la Seconde Guerre mondiale, c'est vers 1950 que les Français prennent l'habitude des vacances ; à cette date, 49 % des citadins sont partis durant l'été, en 1957, 62 %. Actuellement, 80 % des Parisiens partent en vacances (la moyenne nationale dépasse les 50 %) ; l'accroissement annuel du nombre des vacanciers se stabilise autour de 1 %, après avoir connu une plus forte expansion entre 1950 et 1960.

52 % des Français partent au moins une fois par an en vacances, contre 64 % des Américains, 64 % des Suédois, 48 % des Allemands de l'Ouest, 31 % des Italiens et 19 % des Soviétiques. En 1975, la durée moyenne du séjour en vacances d'un Français s'établissait autour de 26 jours ; c'est la durée moyenne la plus longue : États-Unis : 22 jours ; Allemagne fédérale : 22 jours ; Italie : 18 jours ; URSS : 17 jours.

Les Français qui partent le plus sont ceux qui sont âgés de 30 à 39 ans ; ceux qui partent le moins sont les personnes de plus de 70 ans. Les Français consacrent un mois de leur revenu à leur budget vacances ; 80 % d'entre eux partent en voiture, 14 % par le train.

Les vacances d'été mobilisent le plus grand nombre de Français ; elles durent en moyenne 21,8 jours (16 jours pour les agriculteurs, 23 jours pour le personnel de service et les patrons, 24 jours pour les ouvriers, 27 jours pour les cadres moyens, 30 jours pour les employés, 31 jours pour les cadres supérieurs et professions libérales).

En 1976, 14 % des agriculteurs sont partis en vacances d'été, 32 % des inactifs, 50 % des ouvriers, 55 % des patrons de l'industrie et du commerce, 63 % des employés, 80 % des cadres moyens, 85 % des cadres supérieurs et membres des professions libérales.

18 % des jours de vacances se sont déroulés à l'étranger, principalement en Espagne, au Portugal, en Italie. Parmi les gens qui sont restés en France, 35 % sont allés chez des amis ou dans leur famille, 24 % ont fait du camping, 14 % ont loué une villa ou un appartement, 8,5 % se sont rendus dans leur résidence secondaire, 10,8 % ont été à l'hôtel. 44 % des vacanciers se sont rendus au bord de la mer (où chacun d'entre eux a disposé de 35 cm de littoral !), 27 % à la campagne, et 17 % à la montagne.

Les vacances d'été signifient encore, pour beaucoup de salariés, l'apogée des loisirs de l'année entière ; toute une industrie annexe s'est d'ailleurs greffée sur ce phénomène : mode vestimentaire, articles de sport, etc. L'homme « se réalise » en vacances, son comportement est différent de celui qu'il a le reste de l'année : généralement, l'argent le préoccupe moins (même s'il se prive pour ce faire pendant une partie de l'année), et cette possibilité le valorise. Le degré de satisfaction, le contentement retiré des vacances influeront sur l'atmosphère de la vie familiale pendant le reste de l'année.

▲ ***Partir en vacances est devenu, en 1936, un droit. C'est aussi une nécessité.***

▼ ***Les vacances d'été mobilisent le plus grand nombre de Français. Ici, le col du Pourtalet vers l'Espagne.***




Cherville - Fotogram



S. Berton - Parimage

▲ *La détente s'accompagne le plus souvent de la pratique modérée d'un sport.*

▼ *Le marché des sports d'hiver (à droite) représente une industrie florissante dans laquelle le ski de randonnée (ci-dessous) occupe une place importante.*

Les individus, fatigués par leur année de travail, partent en vacances pour se reposer; la détente s'accompagne le plus souvent de la pratique modérée d'un sport (natation, marche, excursions, vélo). Les touristes sont volontiers sédentaires, ils disent être fatigués par le rythme de vie qui leur est imposé toute l'année. Il en résulte que beaucoup d'entre eux se retrouvent à la même période, entassés aux mêmes endroits.

Le Français en vacances, bien qu'avide d'évasion, transpose le plus souvent l'atmosphère étouffante de son environnement habituel. Or les vacances sont l'occasion rêvée pour l'approfondissement des relations entre citadins et ruraux, mais les contacts « différents » sont presque toujours impossibles. Les vacances, entend-on dire, permettent aux différentes classes sociales de se côtoyer; la réalité est autre : on constate tout d'abord que les gens se regroupent en certains endroits, en fonction de leur situation financière. D'autre part, lorsque des contacts ont lieu, on s'aperçoit qu'ils restent le plus souvent superficiels, et que, sitôt les vacances terminées, les relations s'estompent.

## Les vacances d'hiver

De nombreux Français choisissent de ne prendre que trois semaines de vacances l'été, pour couper l'année par une semaine de détente en hiver. Pendant la saison 1975-1976, 16,2 % des Français sont allés en vacances d'hiver pour une durée moyenne de 14,9 jours; les plus longs séjours sont le fait des employés, du personnel de service, des cadres supérieurs et membres des professions libérales. 3,2 % des agriculteurs sont partis, 8 % des ouvriers, 13,4 % des patrons, 20 % des employés, 33 % des cadres moyens, 46 % des cadres supérieurs et membres des professions libérales.

51,3 % des vacanciers d'hiver se sont rendus chez des parents ou amis, 6,5 % ont loué un appartement, 1,9 % ont fait du camping, 13 % se sont rendus dans leur résidence secondaire et 16 % à l'hôtel.

Contrairement à une idée reçue, les vacances d'hiver ne se déroulent pas toutes en montagne; 16,6 % des vacanciers vont à la mer, 31,4 % à la campagne, 28,8 % en montagne (dont 20,6 % pour pratiquer le ski ou autres sports d'hiver), 32,1 % à la ville, alors que 11 % des vacanciers d'hiver suivent un circuit touristique.

Le marché des sports d'hiver représente une industrie florissante, dont le chiffre d'affaires connaît une hausse annuelle de 10 à 15 %. 1 500 000 personnes sont allées aux sports d'hiver en 1973-1974, et 2 400 000 en 1976-1977.

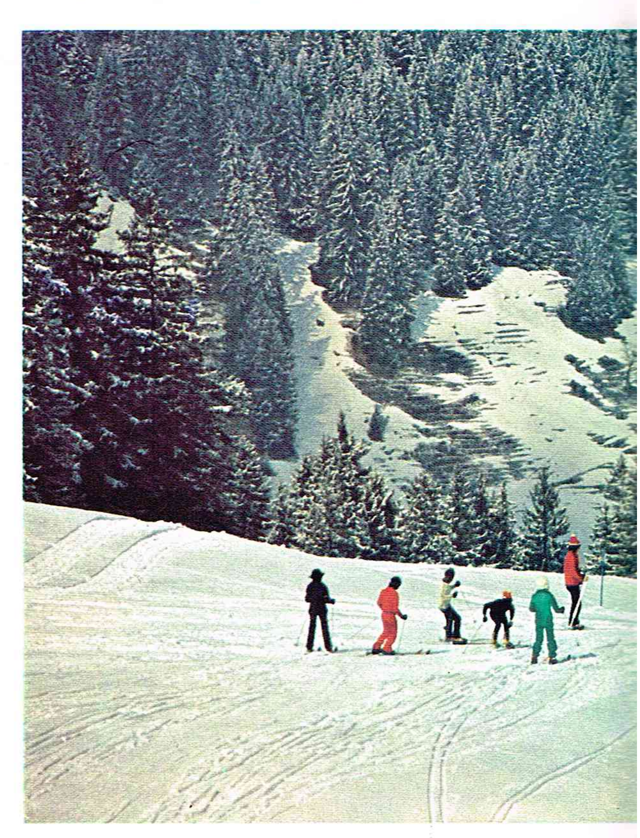
Le ski de fond, pratiqué il y a dix ans par quelques fanatiques, devient un phénomène de masse, et rassemble 450 000 adeptes en France. Sa formidable évolution dans le marché des sports d'hiver a permis à des petits villages de se spécialiser dans les pistes de fond, villages de moyenne montagne, dont les ressources financières étaient insuffisantes pour subvenir à l'équipement d'une station moderne.

## Les vacances organisées

Le Français part en vacances pour se relaxer; mais au repos succède quelquefois l'ennui. C'est pourquoi les vacances organisées connaissent depuis quelques années un regain de succès; la possibilité d'être délivré



R. Dumas - Fotogram



de tout souci matériel, de profiter des diverses activités et animations prévues, fait que 15 % des Français choisissent cette formule (contre 70 à 80 % des Allemands et des Scandinaves).

Depuis 28 ans qu'ils existent, les clubs de vacances ont connu un formidable développement; l'un d'entre eux, dont le premier village a été créé en 1950, en compte aujourd'hui 75 répartis dans toutes les régions du monde, dont la capacité d'hébergement représente 45 000 lits. Les activités sportives proposées sont multiples, et l'animation constante; les personnes qui choisissent ce style de vacances sont souvent celles qui ont des difficultés à nouer des relations dans leur vie quotidienne. Très souvent, la participation aux activités offertes fait partie des règles du jeu, et ceux qui ne s'y soumettent pas sont exclus de la minisociété qui est recréée, et qui se referme sur elle-même; les gens qui partent en club n'y vont ni pour faire du tourisme, ni pour se mêler à la vie locale, mais pour y lier des relations, le plus souvent superficielles. L'attitude du vacancier en club est fondamentalement passive; mais chacun a l'impression merveilleuse de compter pour les autres.

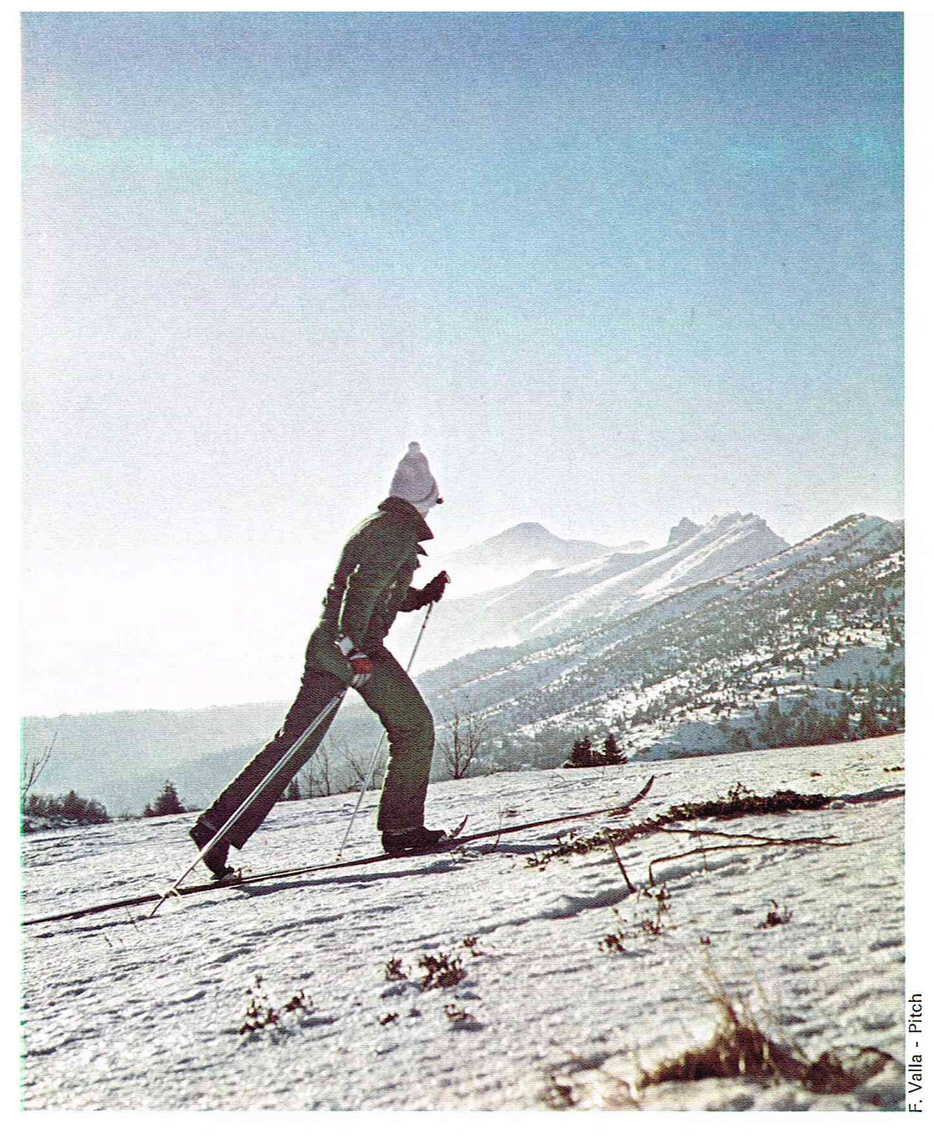
55 % des gens qui fréquentent les clubs de vacances ont entre 25 et 39 ans, 32 % entre 40 et 59 ans; très peu de jeunes et de personnes âgées choisissent cette formule. La clientèle des clubs se décompose ainsi : 25 % de cadres supérieurs et membres de professions libérales, 25 % de cadres moyens, 21 % d'inactifs, 16 % d'employés, 10 % de patrons de l'industrie et du commerce, 0,3 % d'ouvriers et d'agriculteurs. 70 % de la clientèle est une clientèle d'habitués.

A côté des clubs, les vacances sociales, organisées notamment par les Villages Vacances Famille, offrent des prestations différentes. Un certain nombres d'activités sont prévues, des prestations sont offertes (garde des enfants), une équipe d'animation est à la disposition des vacanciers.

En plus de ces actions ponctuelles, la nécessité se fait sentir, chez les salariés ne partant jamais en vacances, d'une aide de l'État sous la forme d'un chèque vacances projet actuellement à l'étude.

## Le camping

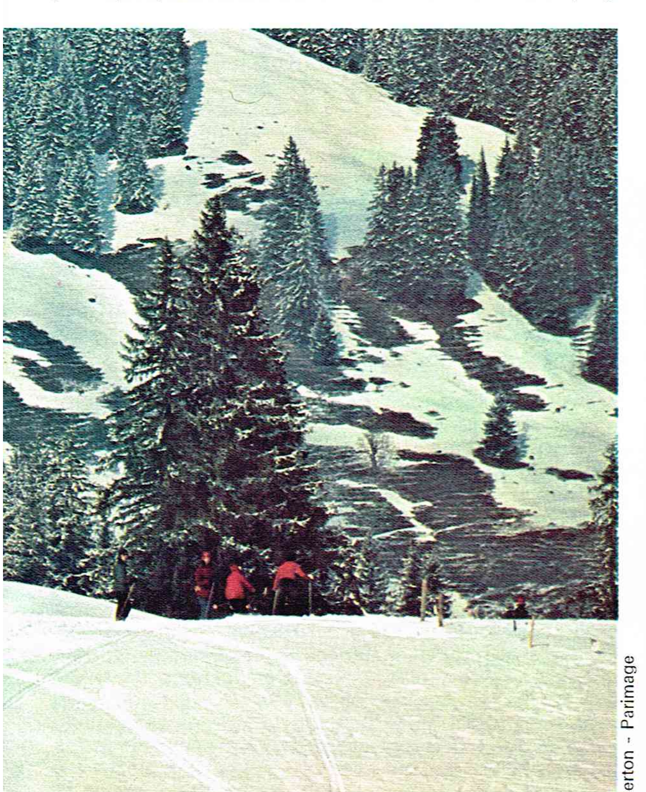
Le camping est né du double désir des Français de prendre des vacances à bon compte, et de transformer, pour quelques semaines, leur mode de vie; le camping



F. Valla - Pitch

▲ *Le ski de fond devient un phénomène de masse, et rassemble aujourd'hui 450 000 adeptes en France (Moucherotte, Vercors).*

▼ *Depuis 28 ans qu'ils existent, les clubs de vacances ont connu un formidable développement.*



S. Berton - Parimage



M. Kuh - Camera-Press


T. Boulley - Fotogram


T. Hinde - Camera Press


Petzold - Pitch

▲ *En haut et ci-dessus, la récente mode d'un retour à la nature n'est pas étrangère à la vogue du camping.*
▼ *Le prodigieux développement de l'auto-stop ainsi que les possibilités qui leur sont offertes par les chemins de fer permettent à un nombre croissant de jeunes de se déplacer.*


E. Berne - Fotogram

apporte également la possibilité de circuler plus facilement en vacances. La récente mode d'un retour à la nature n'est pas non plus étrangère à la vogue du camping. 5 500 terrains classés, outre de nombreuses places de camping à la ferme ou de camping sauvage, accueillent 6 millions de campeurs en France. En 1965, l'ensemble des adeptes du camping avait passé sous la tente ou dans la caravane 58 millions de nuitées (141 millions en 1976).

Le parc des caravanes était constitué de 52 000 véhicules en 1970, et de 86 000 en 1976.

Quant au naturisme, les premiers centres sont nés en Allemagne en 1903, puis en France en 1904; actuellement, 200 associations regroupent 60 000 adhérents. 55 % d'hommes et 45 % de femmes passent leurs vacances dans les camps de naturisme (21 000 places); la moyenne d'âge est de 39 ans pour les hommes, et de 34 ans pour les femmes. 80 % des naturistes sont représentés par des ménages accompagnés de leurs enfants de moins de 15 ans.

Les naturistes se composent pour 28 % de cadres moyens, 17 % de cadres supérieurs et membres de professions libérales, 13 % de patrons, 25 % d'employés, et 10 % d'ouvriers. Le naturisme a connu, depuis 1956, un fort accroissement (10 fois plus d'adeptes en 1976 qu'en 1956).

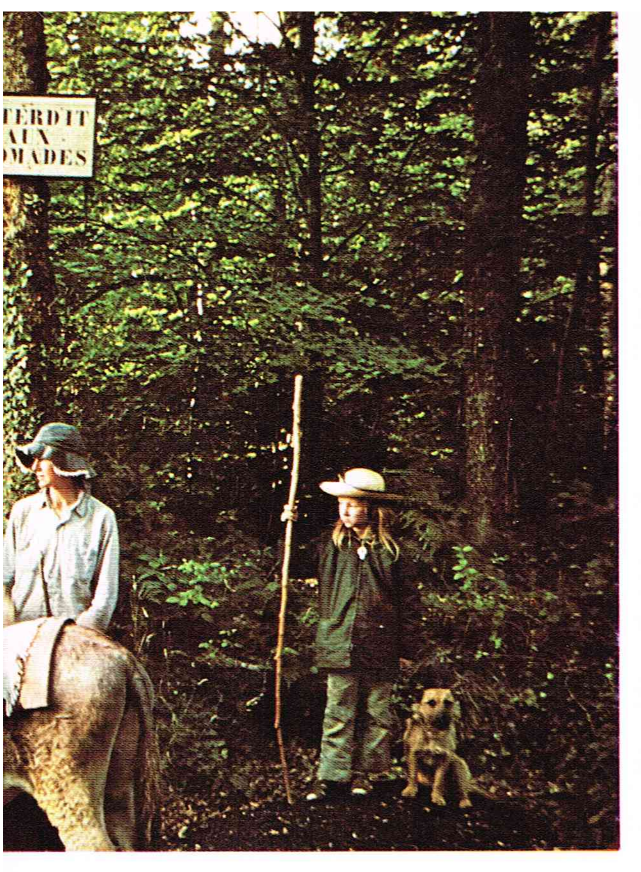
### *Les vacances des jeunes*

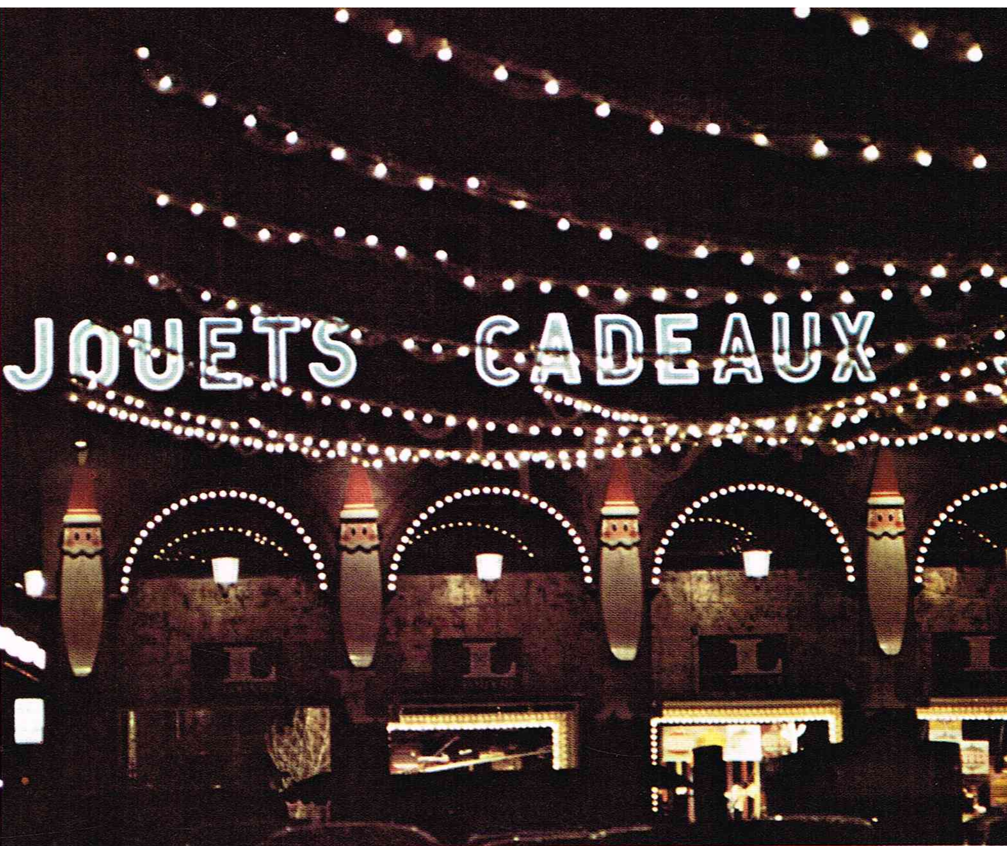
Contrairement à leurs aînés, vacanciers sédentaires, les jeunes rêvent d'évasion et de dépaysement; ils recherchent bien sûr la découverte de nouveaux horizons, mais également le contact avec la population des régions qu'ils traversent.

De nombreux organismes participent à cette quête des jeunes et leurs noms sont particulièrement évocateurs : « Jeunesse et Reconstruction », « Opération Emmaüs », « Terres d'aventures », « Nomades-expéditions ».

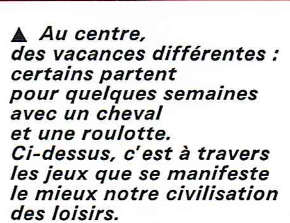
Les adolescents profitent également des charters, dont l'activité s'intensifie régulièrement. Air Charter International, filiale d'Air France, a véhiculé 19 000 personnes vers la Grèce en 1970, 51 000 en 1973, et 95 000 en 1976.

Enfin, de nombreuses structures d'accueil à bon marché permettent aux jeunes qui le désirent de voyager à bon compte en France et en Europe : 48 600 lits leur étaient ainsi offerts en France en 1974 (auberges de jeunesse, centres d'accueil urbains, centres de montagne). Ils sont principalement répartis dans la région parisienne, le Centre, la Bretagne et les régions du Midi. Le prodigieux développement de l'auto-stop ainsi que les possibilités qui leur sont offertes en Europe par les chemins de fer permettent à un nombre croissant de jeunes de se déplacer.




E. Berne - Fotogram


▲ *Au centre, des vacances différentes : certains partent pour quelques semaines avec un cheval et une roulotte. Ci-dessus, c'est à travers les jeux que se manifeste le mieux notre civilisation des loisirs.*

La jeunesse actuelle voyage sans se soucier des conditions de confort dans lesquelles ces déplacements s'effectuent; elle est désireuse avant tout d'éloignement, de dépaysement.

Les enfants, quant à eux, peuvent actuellement bénéficier de plus de 500 000 places dans les centres de vacances et de loisirs : colonies maternelles, camps et colonies de vacances, centres de vacances d'adolescents.

### *Des vacances différentes*

Un double courant se fait sentir chez les Français en vacances. Beaucoup sont encore avides d'exotisme, de tranquillité, de relaxation. Mais certains tentent ce qu'il était inconcevable de faire il y a seulement trente ans : ils descendent l'Allier en kayak; ils partent pour quelques semaines dans les massifs isolés du centre de la France avec un cheval et une roulotte; ils remontent lentement le cours du magnifique canal du Midi en house-boats; 2 millions de randonneurs partent chaque été, sac au dos. Après avoir été bien loin, les Français apprennent à découvrir la France, à vivre pendant un mois en harmonie avec sa nature; ils s'épanouissent dans la redécouverte d'un rythme de vie humain, qui ne prend pas pour référence les heures de travail ou de télévision, mais le lever et le coucher du soleil.

Un antitouriste, beaucoup plus heureux que le touriste d'hier des stations balnéaires; un touriste qui refuse que son temps de loisir soit préparé par d'autres, ce touriste « nouvelle manière », c'est peut-être l'homme de loisir de demain; celui qui donne, dès aujourd'hui, en tête de ses préférences en matière de sorties les promenades à la campagne, puis le pique-nique, les promenades dans les espaces verts en ville, le cinéma et les matches de sport.

Les valeurs morales traditionnelles attachées à la prééminence du travail perdent de la vigueur avec la montée d'une génération sensibilisée aux problèmes du loisir. Mais le développement de la civilisation des loisirs implique la canalisation, pour une meilleure organisation, de toutes les pulsions nouvelles en la matière. La volonté, qui s'affirme chaque jour, de l'indépendance de l'homme vis-à-vis des loisirs ne va-t-elle pas se heurter à une réglementation contraignante, ou à une commercialisation abusive?

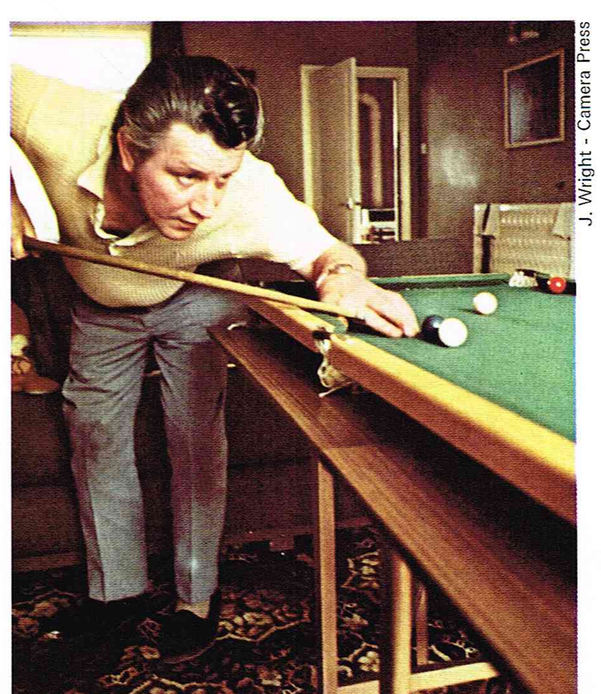
La situation matérielle de l'homme de l'an 2000 est difficile à prévoir. Ces obstacles divers : réglementation, commercialisation, croissance plus modérée du niveau de vie, vont lui donner un autre profil. Mais sa volonté d'indépendance, sa créativité réussiront-elles à créer une autre forme de loisir plus adapté? L'homme de loisir d'aujourd'hui, intelligent, se veut indépendant. Réussira-t-il à le rester?

## LOISIRS ET TECHNIQUE

### *Jouets et jeux*

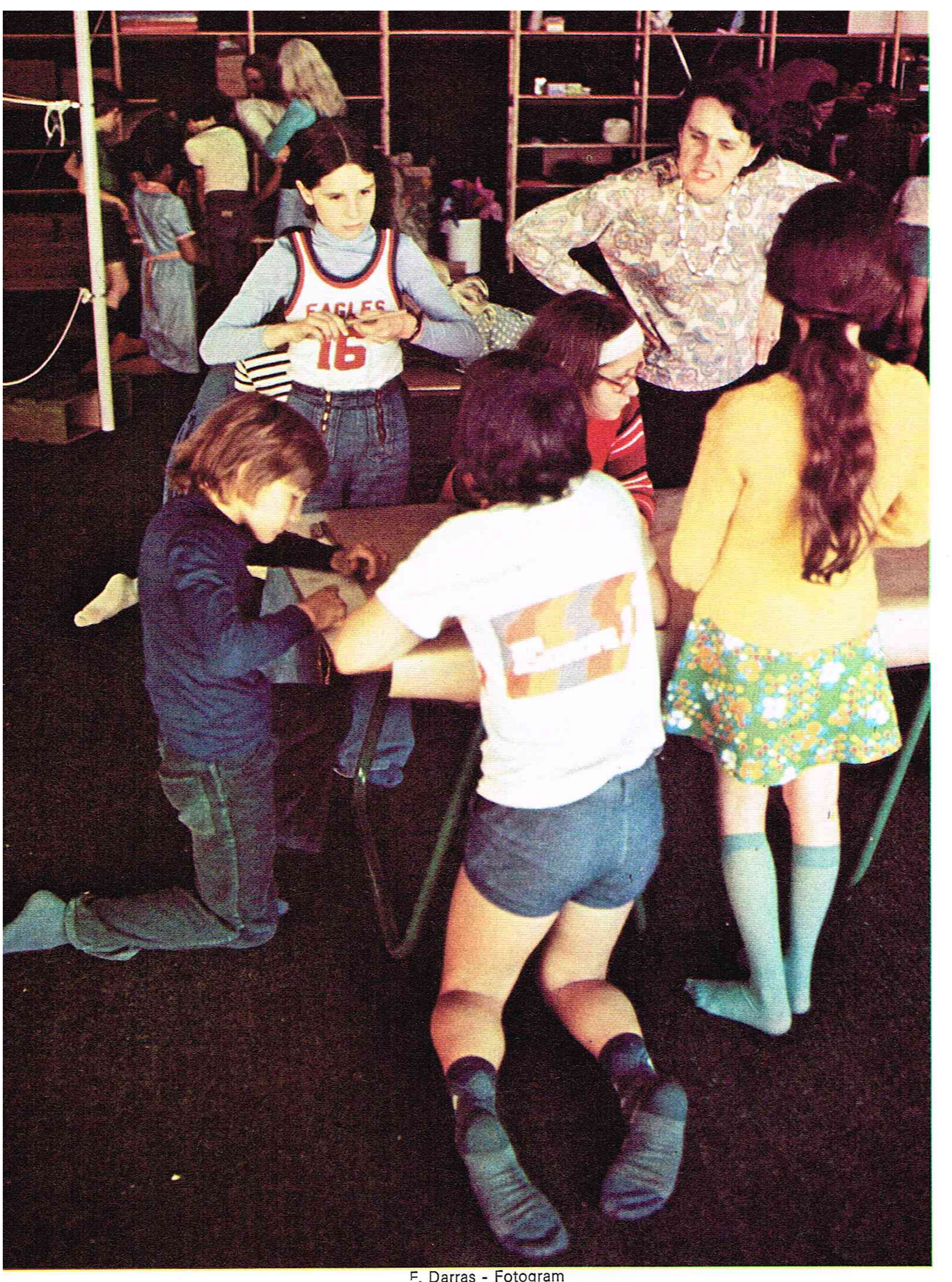
#### *Vers une civilisation du jeu*

C'est à travers les jeux que se manifeste le mieux notre civilisation des loisirs. En effet, l'activité ludique a dépassé depuis longtemps le stade représenté par son instrument, le jouet, pour envahir tous les secteurs de notre existence. Aujourd'hui, nous apprenons en jouant, nous travaillons en jouant, et nos instants de détente sont consacrés en grande partie aux jeux. La psychanalyse elle-même s'est approprié le jeu, à travers le psychodrame. Le langage publicitaire parvient lui aussi à récupérer le jeu pour des activités qui semblent pour le moins éloignées de toute occupation ludique : « Sur le matelas X, dormir devient un jeu d'enfant. » Il serait puéril de ne voir dans ces manifestations qu'un phénomène de vocabulaire; à travers elles, c'est l'évolution de notre civilisation qui est concernée. A l'ère moderne, où le pain est obtenu sans trop de problèmes, toute aspiration devient jeu. En allant jusqu'à transformer le travail en jeu, notre société crée un temps de loisir fictif qu'elle n'a pas les moyens de dispenser à tous. Cela conduit à une transformation de la notion de jeu, autrefois synonyme de rêve, aujourd'hui réalité palpable, mise à la disposition de chacun.



J. Wright - Camera Press

◀ *Nos instants de détente sont consacrés en grande partie aux jeux.*



F. Darras - Fotogram

▲ *On assiste à une vague croissante des jeux éducatifs; ici, un atelier d'enfants au centre Beaubourg.*

### *Au temps où le jouet n'était qu'un jeu d'enfant*

Il y a vingt ans, jouets et jeux étaient encore deux phénomènes distincts, se manifestant par une séparation du monde de l'enfance et de celui des adultes. Abandonner ses jouets représentait encore dans les années 1950 un symbole de mûrissement. Arrivé à l'âge d'homme, l'adolescent devait rejeter tous ces symptômes de puérilité et consacrer son temps aux « choses sérieuses ».

Adulte, l'homme n'abandonnait pas pour autant le jeu. Qu'il se manifeste dans la pratique d'un sport ou dans celle des jeux de hasard, le jeu marquait nettement la différence entre temps de travail et temps de loisir. Il était alors inconcevable et fort mal considéré de se livrer à une activité ludique, y compris à l'intérieur de la cellule familiale : il s'était créé une sorte de tabou du jeu, et l'on ne pouvait s'y adonner que dans des clubs, sportifs ou privés, comme pour le billard ou la roulette. Ce phénomène était dû essentiellement à deux faits : absence de pouvoir d'achat chez l'adolescent (et *a fortiori* chez l'enfant) et masculinisation du jeu. Sans pouvoir d'achat, l'enfant restait dépendant des choix parentaux; l'adolescent se trouvait sous la même dépendance matérielle, avec en outre l'interdit pesant sur le jouet qui le concernait spécialement, en tant que futur adulte. Passer du jouet au jeu devenait alors une affaire d'hommes. Pour la jeune femme, l'enfant était considéré comme le prolongement naturel de la poupée: le jouet s'était transformé naturellement en jeu. Chez le jeune homme en revanche, on considérait que le jouet devait mourir avec l'adolescence. Passé ce stade, le jeu devenait le privilège du guerrier, son droit au repos.

### *L'ère du jeu*

Depuis les années 1960, on assiste à une évolution décisive du jouet, de son industrie et de la notion même du jeu. Par sa production en grande série, le jouet se diversifie; par l'évolution des mœurs, il n'est plus réservé au domaine de l'enfance; par le soutien des media, il devient un produit de grande consommation.

Le jeu a perdu le caractère péjoratif qu'on avait pu lui attribuer auparavant. Le temps que chacun lui accorde est beaucoup plus important que celui qui lui était réservé par les générations précédentes. Non que la durée consacrée aux loisirs soit aujourd'hui plus grande, mais parce que le jeu devient un facteur de cohésion familiale. Les jeux de société permettent ainsi à la famille de se retrouver plus souvent.

Mais c'est sans doute à l'influence des media, et plus particulièrement à celle de la télévision, que l'on doit d'assister à une évolution rapide de la conception et de l'importance des jeux dans notre société.

### L'animation : une forme de jeu imposée

Parallèlement aux jeux de toutes sortes qui trouvent leur place dans la vie quotidienne, une nouvelle forme de jeux a fait son apparition, qui reprend à son compte beaucoup de manifestations de l'enfance et qui se complaît dans l'obéissance à un nouveau dieu : l'animateur. Faute de pouvoir créer — ou de chercher à le faire — de nouveaux divertissements, l' « honnête homme » de notre temps remet ses plaisirs entre les mains de ce professionnel du jeu. Cela se manifeste essentiellement dans les villages de vacances, où tout est conçu pour la détente optimale du client. On assiste là encore, comme à la télévision, au choix délibéré du jeu conçu davantage pour le plaisir, parfois sadique, du spectateur (mais les tartes à la crème d' « Intervilles » sont-elles autre chose qu'un avatar des jeux du cirque de la Rome antique ?) que pour celui du participant.

L'animation ne se cantonne plus dans les périodes de vacances et s'implante dans les villes, à longueur d'année. D'abord sous forme d'animation commerciale, dans les grandes surfaces ou les rues commerçantes. Forme déguisée d'une technique de vente, elle n'en rencontre pas moins un succès considérable. Acheter devient en réalité l'occasion d'une détente, et jouer fait oublier l'achat.

Mais l'animation n'a pas toujours cet aspect mercantile ou imposé. De plus en plus, les municipalités utilisent les services d'animateurs, chargés davantage de créer des occasions de vente, de jouer le rôle de catalyseurs, que d'imposer un certain type de plaisirs programmés. L'animation devient alors synonyme de participation, et le jeu-spectacle devient jeu actif. Cette transformation progressive est à souhaiter, car elle débouche sur un meilleur apprentissage du temps de détente et donc sur une réelle civilisation des loisirs : le jeu est devenu partie intégrante de notre existence.

### Vers une nouvelle forme de jeu

Même pour les jeunes enfants, le jouet n'a plus la même signification qu'autrefois; il est devenu un produit de la culture. Lorsque la majorité des enfants apprit à lire, il se créa très vite des bibliothèques afin d'inciter à la lecture et de faciliter sa pratique. On assiste aujourd'hui à un phénomène semblable avec le jouet : de plus en plus se créent dans de nombreuses communes françaises des ludothèques, sortes de bourses d'emprunt de jouets. Le jouet perd ainsi de son caractère personnel pour acquérir une dimension sociale.

Dans les séminaires de formation permanente destinés aux cadres, il n'est pas rare de voir utiliser des jeux comme outils pédagogiques : ce peut être un simple jeu de cubes que le stagiaire doit empiler afin d'évaluer ses capacités de prévision, et cela peut aller jusqu'à l'utilisation d'ordinateurs dans le cas de « jeux économiques », où l'on assiste au spectacle curieux de cadres supérieurs sérieux et pondérés allant jusqu'à se battre pour des guerres fictives, comparables à de modernes parties d'échecs. Peut-être assistera-t-on bientôt à l'entrée du jeu dans les usines ou les bureaux, comme facteur d'émulation. Retrouvera-t-il un jour sa réelle

fonction de détente, nul ne le sait ; mais ses rapports avec la vie quotidienne ne seront plus les mêmes.

## Les jeux traditionnels

Au hit-parade des jouets, les enfants du XXe siècle paraissent élire les mêmes best-sellers que leurs prédécesseurs du Moyen Age et même de l'Antiquité. Les osselets connaissent toujours une vogue égale, si ce n'est que la matière plastique s'est substituée aux os de mouton ; les poupées ressemblent davantage aux actrices de cinéma américain qu'aux petites filles modèles de la comtesse de Ségur, mais elles sont toujours bercées avec la même tendresse qu'au siècle dernier ; les G.I.'s ont pris la place des soldats de plomb de l'Empire, sans pour autant diminuer l'ardeur combative des garçonnets. En apparence, rien n'a changé.

### Un impôt sur l'avenir : le jouet évolutif

En réalité, on assiste à une transformation de la notion même de jouet. La poupée se met à grandir avec la petite fille, le soldat devient un homme qui grandit avec le petit garçon. Le jouet devient réellement actif. Non seulement pour les enfants, mais aussi pour les parents. Pour une somme relativement modeste, la poupée peut être achetée nue, ou pratiquement, ainsi que le soldat ; c'est l'assurance, pour le fabricant, d'achats successifs et naturellement plus coûteux. On assiste ainsi à une sorte d'impôt levé sur les parents, impôt d'autant plus pernicieux qu'il est soumis au choix de l'enfant.

En réalité, pratiquement tous les jouets connaissent aujourd'hui l'influence de ce même phénomène. Ce qui était auparavant du domaine réservé des jeux de construction (style « Meccano » ou « Lego ») se répand à d'autres genres. Le succès des « Playmobil », sortes de personnages de plastique aux possibilités d'habillages multiples, en est la preuve. Ce n'est plus le jouet en lui-même qui intéresse l'enfant, mais la possibilité de le transformer, avec un seul jouet d'en faire plusieurs dizaines d'autres. Cette multiplication conduit à une transformation du jeu chez l'enfant. Il n'est plus le personnage central des jeux, il en est le maître, et déjà l'animateur ; ainsi, il se vend moitié moins d'épiceries, de marchandes des quatre-saisons ou de bureaux de poste qu'il y a vingt ans, parce que l'enfant abandonne un rôle direct sur le jouet et se projette sur ses personnages. Il apprend ainsi plus jeune à se situer dans un contexte social, il devient adulte plus tôt.

La vogue actuelle des jeux de société correspond à une évolution semblable. Si les petits chevaux, le jeu de l'oie et autres nains jaunes subsistent encore, ils ont cédé le pas à de multiples jeux, dont le « Monopoly » est l'exemple le plus connu. L'enfant apprend à conduire avec les « Mille Bornes », à jouer les détectives avec « Cluedo », à la politique avec le « Président ». Mais plus que leur impact éducatif, souvent fort restreint, c'est leur importance sur le groupe qui ressort du choix de ces jeux ; ils représentent, tant pour l'enfant que pour les parents, la possibilité de se retrouver en famille.

Le train électrique a subi le même recul. Jeu solitaire, il est devenu le privilège de collectionneurs pour la plupart adultes. Il est aujourd'hui supplanté par les circuits de voitures électriques où la compétition est de règle, et nécessite donc la participation de plusieurs enfants ou adultes.

### De la mécanique à l'électronique

Les voitures à friction, les trains mécaniques, les avions à moteur à caoutchouc sont pratiquement tombés en désuétude. La voiture à pédale a cédé le pas à la voiture électrique, le ressort à la pile et le baby-foot sur table au football électronique. Le monde de l'enfance évolue en parallèle avec celui des adultes ; il va même jusqu'à le précéder. Cela explique en partie la rapidité avec laquelle les enfants peuvent se lasser d'un jeu ; curieux par nature, ils rejettent très vite tout ce qui n'est pas dernière nouveauté. Les ventes des voitures ou avions fonctionnant par télécommande avec fil ont considérablement baissé depuis la vulgarisation des premiers jeux électroniques. Le disque et la minicassette ont eux aussi largement profité de cet engouement.

Avec l'apparition des microprocesseurs et le développement des jeux électroniques, on assiste au développement du « jeu-gadget ». Profitant du support de la télévision, les vidéojeux envahissent les foyers, jouant un peu le rôle du train électrique chez les générations précédentes : destinés en principe aux enfants, ou aux adolescents, ils exercent plus de fascination sur les adultes. En 1976, on en comptait 15 000 en France, 300 000 en 1977, et l'on envisage leur vente à près d'un million pour 1978. Parallèlement, les prix baissent en proportion. En décembre 1976, le boîtier de commande coûtait 600 à 800 F ; en 1978, seulement 200 à 250 F, et l'on estime que d'ici à 1980, il ne coûtera plus qu'environ 50 F.

En réalité, ces jeux ne représentent pas de réel danger pour l'avenir des jeux plus traditionnels. Ils sont davantage le fait d'une mode, et leur courbe d'utilisation, après achat, ne cesse de décroître.


E. Andersson - Fotogram


P. Hinous - Top

▲ *En haut, la vogue actuelle des jeux de société, ici le* Monopoly, *représente, tant pour l'enfant que pour les parents, la possibilité de se retrouver en famille. Ci-dessus, le train électrique, jeu solitaire, a subi un recul et est devenu le privilège de collectionneurs pour la plupart adultes.*

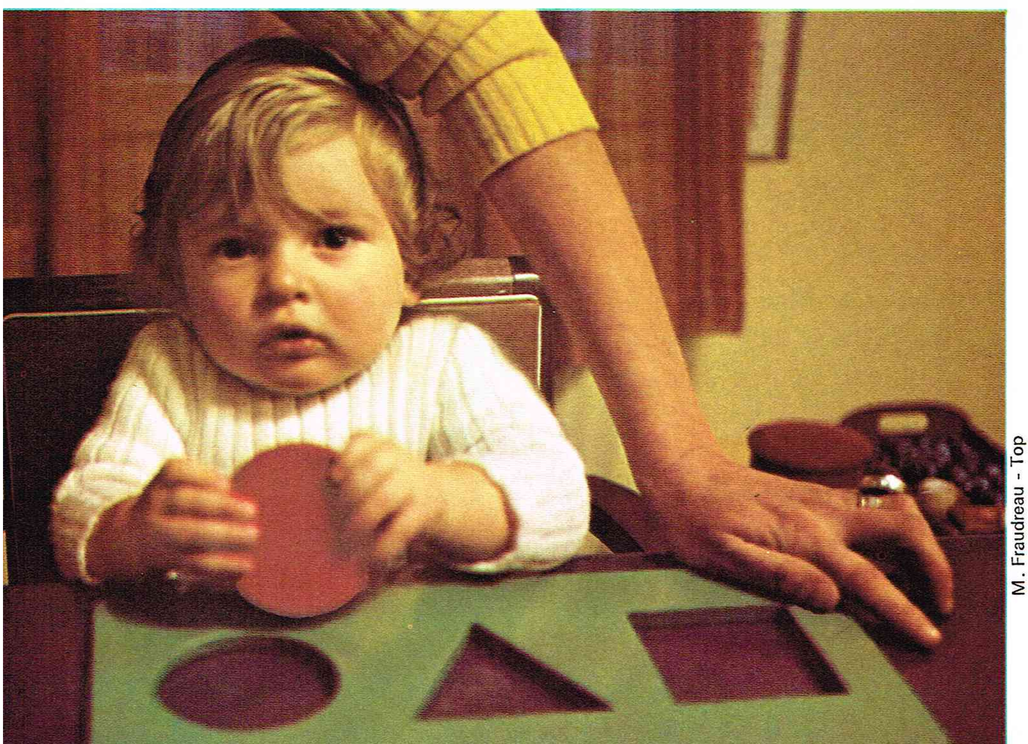
## Apprendre en s'amusant

La soif de savoir qui se manifeste aujourd'hui chez l'adulte ne peut qu'influencer le comportement des parents vis-à-vis de leurs enfants. C'est ainsi qu'on assiste à une vogue croissante des jeux éducatifs. Du berceau à l'âge d'homme, l'enfant est influencé dans ses jeux par le choix des parents. Ce phénomène se double du fait d'une éducation scolaire qui, dès la maternelle, cherche à utiliser le jeu comme support pédagogique. De plus en plus, *apprendre à jouer devient synonyme d'apprendre à vivre.* Par leur participation active à ces jeux, les parents ne se contentent pas de donner leur caution, ils cherchent eux-mêmes à s'auto-éduquer.

M. Desjardins - Top

▲ *Les jeux évolutifs, par boîtes de montage successives, s'ils proposent des modèles, sont très vite repensés par l'enfant.*

▼ *Très vite, sont disposées devant l'enfant des pièces de plastique de couleurs et de formes différentes, destinées à éveiller son attention et sa curiosité.*



M. Fraudreau - Top

### *Le jeu de cubes pédagogique*

Si le bébé au berceau trouve toujours auprès de lui un poupon de laine ou quelque animal en peluche, à peine a-t-il ouvert les yeux que sont disposés devant lui hochets et pièces de plastique de couleurs et de formes différentes, destinés à éveiller son attention et sa curiosité. Très vite, le traditionnel jeu de cubes est remplacé par des éléments gigognes, par des boîtes qu'il s'agit d'ouvrir avec des clefs de couleurs différentes, des tirelires où il faut faire entrer des disques de tailles diverses. La découverte du monde extérieur se fait par la volonté, ou d'après le choix et la vision qu'en ont les adultes. Le processus d'appréhension de l'existence se fait à vitesse accélérée, comme s'il y avait une volonté manifeste de faire grandir plus vite l'enfant, au rythme de notre existence.

Un peu plus tard, les jeux de construction remplacent ces jouets d'initiation. Ils ont le mérite de laisser à l'enfant l'imagination dans la création. Les jeux évolutifs, par boîtes de montage successives, s'ils proposent des modèles, sont très vite repensés par l'enfant ; la briquette de plastique ne devient plus maison ou voiture, mais murs d'un univers qui n'appartient qu'à lui : le jeu évolutif se transforme insensiblement en jeu créatif. Ce ne sont pas les boîtes successives de tel ou tel fabricant qui vont permettre à l'enfant d'appréhender ou d'imiter le monde extérieur, mais le choix qu'il fera des possibilités d'utilisation.

On a pu constater ainsi qu'il y avait une certaine désaffection vis-à-vis des jeux de construction mécanique comme le célèbre « Meccano » au profit des possibilités d'échafaudages qu'offrent les pièces de plastique du « Lego ».

### *Les jeux scientifiques*

Le jeu scientifique n'est pas une nouveauté. Dès la fin du XIXe siècle, de nombreux modèles réduits de machines fonctionnant grâce à la vapeur apparaissent sur le marché en même temps que les premiers coffrets de « petit chimiste ». Se développant de pair avec les découvertes techniques, ces coffrets de futurs professionnels couvrent aujourd'hui pratiquement tous les domaines scientifiques où une application à la portée de tous est réalisable. C'est le cas de la chimie, de l'électricité, de la radio, de l'électronique.

Apprendre en s'amusant ne correspond plus alors à une découverte de l'existence, mais à une option sur l'avenir. Incitation à choisir une profession, le jouet scientifique perd de son caractère ludique pour s'insérer dans un cadre pédagogique global. En réalité, tout se passe comme si l'on recherchait dans le jouet une systématisation de l'apprentissage. Il devient très difficile de faire la part des choses entre l'objet utilitaire et le jeu : on assiste à un détournement de cet objet au profit de l'activité ludique. C'est ainsi qu'en se démocratisant, les calculatrices électroniques sont devenues un objet de jeu ; plusieurs ouvrages consacrés à leur utilisation en tant que tel sont parus.

Le jeu scientifique entre donc dans ce mouvement général, qui conduit à considérer tout ce qui n'est pas activité professionnelle personnelle comme possibilité de loisir et de détente.

### *Jeux éducatifs et media*

On a vu que l'indice d'écoute des chaînes de radio obtenait son meilleur score à l'heure des jeux de toutes sortes. Les sommes susceptibles d'être remportées n'expliquent pas à elles seules ce succès chez les auditeurs. Ce phénomène est encore plus marquant à la télévision, avec des émissions-vedettes comme les « Jeux de 20 heures » ou « Les chiffres et les lettres ». Plus qu'à l'esprit de compétition, ils font appel à la réflexion individuelle et démontrent que le temps de loisir peut ne pas être réservé uniquement à des activités « défoulantes », y compris chez les adultes.

Radio et télévision n'ont d'ailleurs pas le monopole des jeux éducatifs. En vingt ans, le nombre de revues consacrées aux mots croisés et à leurs dérivés (chassé-croisé, jeux fléchés, etc.) est passé de 11 à 87 ; un certain nombre d'entre elles sont réservées aux enfants, phénomène très récent. Le mot lui-même est devenu support de jeu, comme le prouve aussi le succès grandissant du « Scrabble ».



◀ *Plus qu'à l'esprit de compétition, les jeux éducatifs, tel le Scrabble, font appel à la réflexion individuelle et démontrent que le temps de loisir, y compris pour les adultes, n'est pas uniquement réservé à des activités « défoulantes ».*

E. Berne - Fotogram

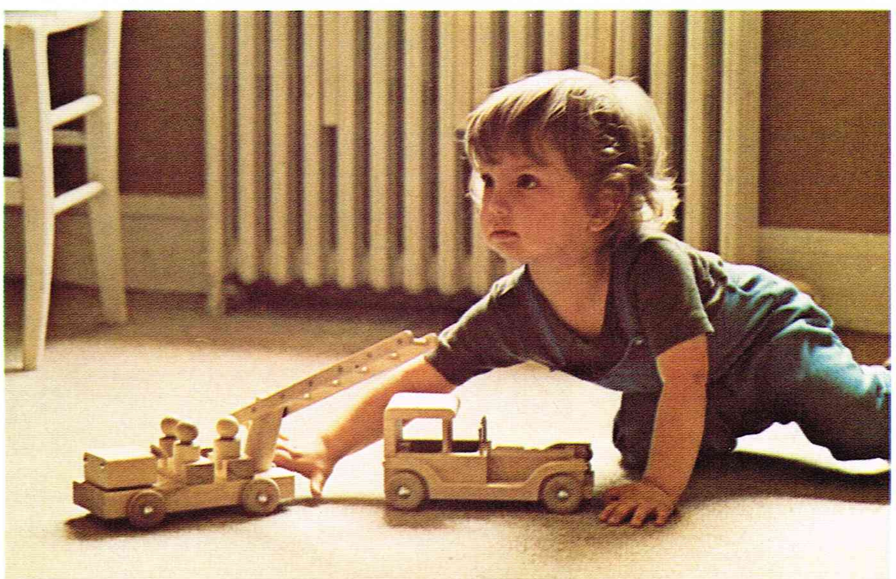
## *Vers une éducation des jeux*

Pendant longtemps, on a considéré que la génération qui nous succéderait allait vivre une véritable civilisation des loisirs, grâce à la réduction du temps de travail par rapport au temps de liberté. L'évolution de la notion de jeu et la crise économique mondiale semblent aller à l'encontre de cette prédiction. Cela ne veut pas dire pour autant que le loisir conservera la portion congrue au cours des années à venir. En réalité, il semble que l'on se dirige vers une solution de compromis, où les loisirs s'inscriront dans le cadre du temps de travail. Ce phénomène est déjà observable dans certains pays scandinaves ainsi qu'au Japon, où une heure quotidienne est consacrée, à l'intérieur de l'entreprise, à des activités de détente pure, comme la relaxation, à la pratique de certains sports ou même à des jeux divers. Trois tendances semblent cependant devoir se dessiner : un retour aux sources du jouet, assimilable au mouvement écologiste actuel; le développement des jeux à grand spectacle, favorisé par le support audio-visuel, et enfin l'essor du marché des jeux programmables en cassettes.

### *Pour un retour aux sources du jouet*

Tandis que se développe une forme de mécanisation croissante du jouet, on assiste en ce moment à un retour à des jouets « naturels », parfois réduits à une simple forme en bois. Loin d'être une manifestation passagère d'un goût et d'une mode « rétro », il semble qu'il s'agisse là d'un retour volontaire à des jouets plus simples, plus directement accessibles à l'enfant et qui ne servent plus seulement d'alibi aux parents. C'est ainsi que se sont ouvertes pratiquement simultanément dans toute l'Europe des boutiques de jouets présentant des objets qui avaient depuis longtemps disparu des vitrines modernes : toupies de bois, totons, cerceaux, ou formes scandinaves simplifiées à l'extrême, ainsi que découpages, images d'Épinal et poupées de chiffon.

Même si ce retour aux sources correspond à un désir non formulé des parents d'une simplification ou même d'une abstraction des jouets, force est de constater que les enfants éprouvent autant sinon plus de plaisir à manipuler ces jouets que d'autres plus sophistiqués et plus mécanisés. Peut-être est-ce là l'expression d'une volonté de conserver les choses du passé, propre à notre époque. Lassé des jouets qui se brisent, des piles qui s'usent à peine utilisées, l'enfant choisirait inconsciemment ce qu'il peut manipuler, transformer au gré de son imagination, sans jamais rien détruire. On est en tout cas forcé de constater que cette attitude correspond à tout un mouvement actuel vers la simplicité et la pérennité de l'objet, à un « instinct ludique écologiste », comme l'a appelé J. Lullien, pédagogue et animateur.



P. Hinous - Top



I. Farkas - Fotogram

▲◀ *On assiste en ce moment à un retour des jouets « naturels » : jouets en bois (ci-dessus) et poupée de chiffon (ci-contre).*



J. Andanson - Sygma

▲ *La télévision a pris le relais de ces nouveaux jeux du cirque.*

### *Les nouveaux jeux du cirque*

L'arène traditionnelle ne suffit plus à satisfaire les innombrables amateurs de jeux à grand spectacle ; la télévision a pris le relais de ces nouveaux jeux du cirque. Considérées par certains comme des spectacles dégradants, par d'autres comme des exhibitions humiliantes, il faut constater que des émissions comme « Intervilles » attirent un public sans cesse plus nombreux. Un championnat d'Europe de boxe ou une coupe du monde de football immobilise des centaines de millions de télespectateurs devant le petit écran.

Dans l'avenir, le développement de ces jeux semble inéluctable. En 1972, une chaîne de télévision allemande projeta un film de fiction représentant une compétition d'un nouveau genre : les candidats à cette sorte de remake de « gendarmes et voleurs » devaient affronter une bande de malfaiteurs durant plusieurs heures. Les armes étaient réelles, tout comme les balles, et les spectateurs de l'émission pouvaient intervenir par téléphone pour dénoncer le candidat aux gangsters ou le renseigner pour l'aider à échapper à ses poursuivants.

A la suite de cette émission totalement fictive, le standard de la chaîne de télévision fut assailli d'appels émanant de télespectateurs désireux de participer, comme candidats, délateurs ou même gangsters, à ce jeu d'un nouveau genre !

Sans aller jusqu'à cette extrémité, qui serait cependant tout à fait envisageable, on peut considérer que ce type d'émission, le jeu à grand spectacle, connaîtra un succès de plus en plus large. Le concurrent devient en effet une sorte de héros mythique, qu'il soit boxeur, avant-centre de football ou simplement homme-mémoire d'une émission comme « La tête et les jambes ». Connaissant la gloire, il risque de tomber aussi vite que le gladiateur des arènes romaines. Si notre civilisation occidentale offre le pain, elle ne propose jamais assez de jeux au télespectateur — héros dans son fauteuil.

### *Les jeux-télé en cassettes*

Les vidéo-jeux connaissent à l'heure actuelle une vogue grandissante. Fondés sur l'emploi des microprocesseurs (mini-ordinateurs), ils permettent déjà, en branchant un boîtier de commande sur n'importe quel téléviseur, de se livrer aux joies du tennis, du football, du squash, installé dans le fauteuil de son salon. Ces jeux sont de plus en plus conçus pour être programmables, c'est-à-dire pour permettre l'adaptation de nouvelles séries de jeux au fur et à mesure que ceux-ci apparaissent sur le marché. C'est ainsi que l'on pourra bientôt s'adonner par téléviseur interposé à la bataille navale, à la course automobile ou encore au combat de chars.

De la même manière, ou envisage de commercialiser des jeux éducatifs sur cassette spécialisée. Il existe déjà des jeux d'échecs avec micro-ordinateur, ainsi que des « Master-mind ». S'ils sont encore relativement chers (2 500 F environ), on peut être assuré qu'ils connaîtront une diminution de prix spectaculaire, à l'image des calculatrices électroniques. Mais il faut cependant ne pas se leurrer quant à la volonté des futurs joueurs de se livrer à ces jeux faisant davantage appel à l'intelligence. Lors d'une enquête sur les vidéo-jeux, 306 réponses ont été obtenues. Sur celles-ci, 236 interviewés optaient en faveur de la course auto, de la bataille navale et du tir, alors que 70 seulement envisageaient des options plus « intellectuelles ».

Quelles que soient les options choisies, l'évolution certaine — et déjà programmée — se fera en faveur d'un terminal domestique ayant le téléviseur comme organe de lecture. Ce terminal pourrait être programmé localement par cassettes ou par un ordinateur central, contactable par téléphone. Ce qui, il y a vingt ans à peine, apparaissait comme une idée de science-fiction devient aujourd'hui réalité. Le jeu sera l'un des principaux bénéficiaires de cette évolution.

D. Goldberg - Sygma

▲ *Le succès d'émissions télévisées comme « Apostrophes » peut faire croire que l'industrie du livre n'a jamais été aussi florissante qu'aujourd'hui.*

## *Les loisirs de consommation*

### *La lecture*

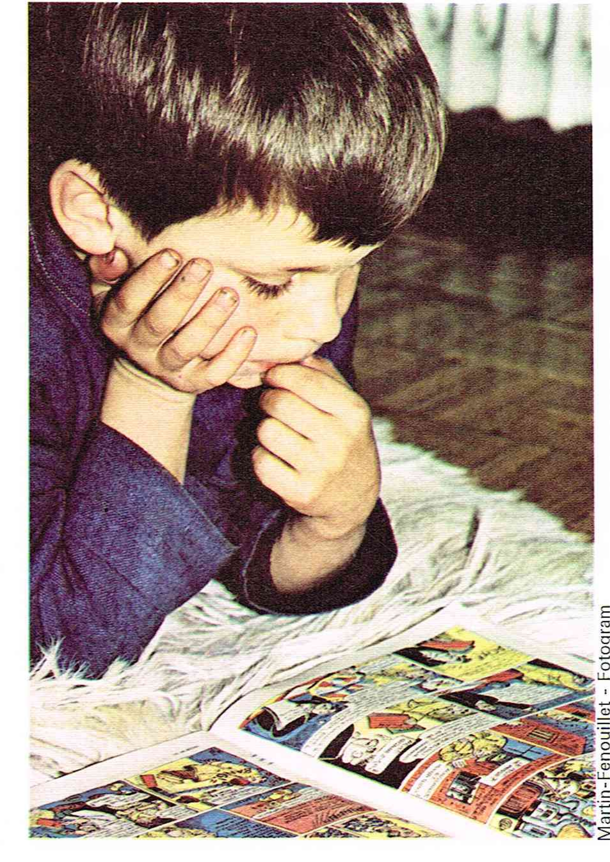
D'après le Canadien Marshall Mc Luhan, notre civilisation est arrivée à la fin de l'ère de la communication imprimée pour entrer dans celle de l'audio-visuel. Pourtant, si l'on regarde les devantures des librairies, les kiosques à journaux, les bibliothèques de gare, il semble que la chose imprimée n'a pas cessé de se développer. Le succès d'émissions télévisées comme « Apostrophes » peut faire croire que l'industrie du livre n'a jamais été aussi florissante qu'aujourd'hui. La création quasi hebdomadaire de nouveaux journaux ou magazines paraît confirmer cette tendance.

### *Journaux et magazines : sources de loisirs?*

Moyen de communication de masse *(mass media)* le plus ancien, le journal fut pendant longtemps le moyen de divertissement (au sens large du terme) le plus répandu chez l'adulte. En 1939, les Français consommaient quotidiennement 12 millions d'exemplaires de journaux, pour une population de 39 millions d'habitants. En 1974, cette consommation était toujours stabilisée à 12 millions d'exemplaires, mais pour une population de 50 millions d'habitants.

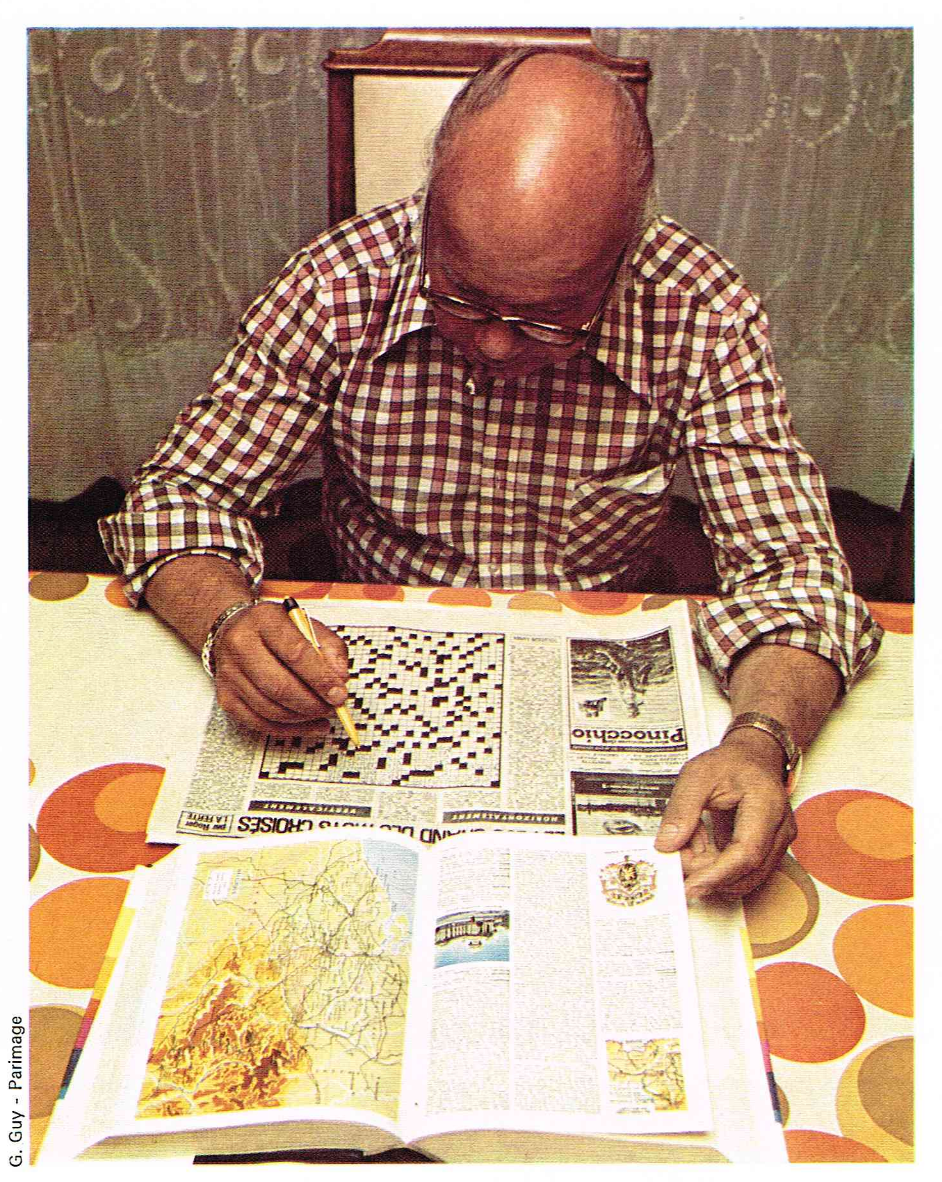
Si la presse reste aujourd'hui la principale source d'informations pour 46 % du public, comme source de divertissement elle arrive très loin (10 %) derrière la télévision (75 %) et la radio (15 %).

Ce phénomène ne touche pas que la presse d'information, il en est de même pour les magazines. Dans la liste des vingt plus importants magazines français, le premier *(Télé 7 jours)* et le troisième *(Télé-Poche)* meilleur tirage sont ceux de revues consacrées aux programmes de télévision ! Parallèlement, les revues techniques consacrées aux loisirs de toutes sortes (bricolage,



Martin-Fenouillet - Fotogram

◀ *La bande dessinée, s'est imposée depuis quelques années au public français et s'est taillé une part de marché importante dans l'édition.*




G. Guy - Parimage

▲ *En vingt ans, le nombre de revues consacrées aux mots croisés et à leurs dérivés est passé de 11 à 87.*

▼ *La naissance du transistor : un second souffle pour la radio qui conserve un public important durant la journée.*



Nicolas - Fotogram

musique, sports, etc.) n'atteignent en réalité que des tirages restreints (15 à 20 000 exemplaires en moyenne). Tout se passe en fait comme si la lecture était devenue une affaire de spécialistes, réservée aux seuls initiés.

Cette généralisation ne semble cependant pas s'appliquer à la presse pour enfants et pour adolescents. Un nouveau « créneau » s'est en effet ouvert avec l'apparition de magazines réservés aux jeunes enfants qui n'ont pas encore été touchés par la télévision. D'autre part, la bande dessinée s'est imposée depuis quelques années au public français et s'est taillé une part de marché importante dans l'édition.

### *Le livre : de la poche à la bibliothèque*

En 1978, chaque Français n'achète qu'un livre par an ! Cette statistique peut paraître aberrante lorsque l'on compare à ce chiffre le tirage de certains livres dits « de poche » (qui peut atteindre le million d'exemplaires). Mais le lecteur français semble vouloir se singulariser : les Américains avaient inventé les collections de poche pour jeter le livre après l'avoir lu ; à l'inverse, nous le conservons des années dans nos bibliothèques, peut-être par respect de la chose imprimée. Le coût du livre joue sûrement beaucoup dans cette situation. Une soirée au cinéma revient pratiquement au même prix que l'achat d'un livre. Le choix est manifestement tout à l'avantage du cinéma, qui supporte mieux la passivité.

Cependant, le Français lit, puisque d'après une enquête de l'ARC (Société d'études de marché) réalisée en 1974, près des trois quarts des Français possèdent au moins un livre. Mais que trouve-t-on dans sa bibliothèque ? Toujours en 1974, 56,4 % des Français possèdent un dictionnaire ou une encyclopédie ; 51,6 % des romans modernes ; 50,1 % des romans policiers, d'espionnage et de science-fiction ; 44,2 % des romans classiques ; 42,5 % des ouvrages historiques ; 36,2 % des livres techniques, scientifiques, politiques, psychologiques, philosophiques ; enfin, 25,1 % possèdent des livres d'art. Romans modernes et romans policiers, romans d'espionnage et de science-fiction se partagent donc la faveur du lecteur moyen : le divertissement pur reste le motif essentiel de la lecture.

Curieusement, et sans doute parce qu'elle a pris une nouvelle forme, l'encyclopédie connaît un regain d'intérêt, grâce aux publications hebdomadaires. La possibilité de relier ces revues attire une clientèle de plus en plus nombreuse. Il est intéressant de constater que, selon 80 % de lecteurs, cet achat est fait « pour les enfants, plus tard ». Les nouvelles générations trouveront-elles un regain d'intérêt dans la lecture ? Hormis le phénomène de la bande dessinée, assimilable à l'audio-visuel, rien ne permet encore de l'affirmer.

## Radio et télévision

Dans le domaine des loisirs, radio et télévision se taillent la part du lion au sein des mass media, avec un net avantage pour la télévision. Si notre civilisation est bien celle des loisirs, elle est surtout celle des loisirs audio-visuels. Symbole ou recherche de facilité, l'image qui nous en a été donnée ces dernières années correspond en fait aux balbutiements de ces techniques nouvelles. L'utilisateur même du son et de l'image ne s'accommode plus d'un rôle purement passif ; il cherche autre chose — notamment à s'exprimer — et le monopole actuel ne pourra longtemps résister à ce désir grandissant.

### *La radio : un futur instrument d'échange?*

La radio a connu son plus grand développement en France entre les deux guerres. Instrument d'information autant que de divertissement, elle rencontrait alors la faveur de la majorité des Français. Avec la croissance et l'essor de la télévision, elle connut une récession brutale. Mais la naissance du transistor devait lui donner son second souffle. Si elle ne peut concurrencer la télévision le soir, elle conserve un public important durant la journée, public composé essentiellement de femmes et de jeunes.

Si elle n'apparaît qu'à 15 % des Français comme la principale source de divertissement, c'est qu'ils y voient avant tout un moyen d'information immédiate. Il est encore trop tôt pour s'appuyer sur de telles données et annoncer à terme le déclin de la radio comme source de

loisirs. En effet, un phénomène nouveau se manifeste depuis quelques années. En 1962, Radio-Caroline, la première « radio-pirate », émit au large des côtes d'Angleterre des émissions destinées aux jeunes auditeurs passionnés de ce qu'on allait appeler la pop-music. C'était la première brèche ouverte dans le monopole de la radio britannique.

Aujourd'hui, cette innovation a fait tache d'huile. En Italie, plus de mille radios parallèles font concurrence aux émetteurs officiels. Émettant sur ondes ultra-courtes, ces radios disposent d'un matériel léger, donc aisément transportable, et offrent à tout mouvement, organisme ou personne la possibilité de s'exprimer en dehors de tout contrôle. La contagion a gagné la France, où plusieurs tentatives d'émission sont réalisées tous les jours.

La lutte entre l'État et ces radios marginales tourne à l'heure actuelle à l'avantage du premier, qui parvient à brouiller les émissions. Il paraît néanmoins difficile d'endiguer un tel mouvement. Du jour où le monopole a accepté l'implantation de radios périphériques, la faille était créée. En outre, peut-on arrêter un mouvement qui fait passer l'auditeur du rôle de récepteur passif à celui d'émetteur actif ? La tentation de « parler dans le micro », de s'exprimer, ne serait-ce qu'une fois, sur les ondes, est trop forte pour qu'on puisse revenir en arrière. La radio est loin d'être morte, elle est à naître, sous une autre forme.

### *Télévision pour tous et par tous*

Plus de 80 % des ménages français se trouvent aujourd'hui en possession d'un récepteur de télévision. Pour 75 % d'entre eux, c'est le premier moyen de divertissement. Cela est dû au fait qu'avant tout, la télévision représente le fournisseur privilégié d'images, donc le premier fournisseur de rêves. Supplantant les magazines (en dix ans, un hebdomadaire comme *Paris-Match*, fondé essentiellement sur l'image, qui diffusait à deux millions d'exemplaires, est tombé à 650 000), mettant en danger l'industrie cinématographique, elle s'est imposée comme le support essentiel des loisirs.

Il serait hâtif de penser qu'on assiste au développement du plus important fournisseur de loisirs de notre époque. La télévision n'en est qu'à ses balbutiements et répond au désir quasi unanime de se détendre à peu de frais, du fond de son fauteuil. Comme pour la radio, il y a là un instrument d'action en puissance. Soumise au même monopole que la radio, la télévision reste dans un carcan et doit, pour maintenir l'intérêt, relancer périodiquement des émissions au succès éprouvé, à peine déguisées sous une autre enveloppe. Tout comme celui de la radio, son monopole est déjà attaqué de toute part.

La télédiffusion, ou télévision par câble (TAC), risque de bouleverser nos habitudes de spectateurs. Il s'agit d'une technique permettant de transmettre images et sons, non plus sans fils, mais par câble. Ainsi, chaque ville peut disposer d'un émetteur qui lui est propre et transmet ses émissions locales, par câble. Quant aux liaisons nationales ou interurbaines, elles restent assurées par faisceaux hertziens. Encore au stade expérimental, la TAC a déjà été testée aux États-Unis, où plus de 15 millions d'Américains y sont reliés. En France, Grenoble et Créteil sont sur le point de développer cette forme de diffusion. Des programmes de télévision axés sur la vie locale, sur la communication directe et donnant aux particuliers la possibilité de s'exprimer sur ce qui les intéresse, transformeraient l'attitude du télespectateur.

Là encore, il semble que cette évolution soit inéluctable. C'est peut-être avec le premier instrument de divertissement de masse mis entre les mains de ses utilisateurs que l'on pourra réellement parler de civilisation des loisirs, à condition que ces mêmes utilisateurs aient appris à la maîtriser.

## *Disques, cassettes et haute fidélité*

Le développement de l'édition musicale et de l'industrie phonographique est la manifestation la plus spectaculaire de notre ère de l'audio-visuel. Les vrais best-sellers de notre temps ne sont plus les prix Goncourt, mais les « Disques d'or » de tel ou tel chanteur. Alphonse Daudet n'aura jamais connu autant d'amateurs que depuis l'enregistrement des *Lettres de mon moulin* par Fernandel. Le grand essor du disque est, malgré tout, quelque chose de récent : c'est avec l'avènement du rock et de la pop-music qu'il se manifeste. L'extension du pouvoir d'achat des adolescents, phénomène d'abord spécifiquement américain, mais qui se répandit très vite en Europe, a permis au disque, puis aux appareils reproducteurs, de se répandre et de voir leur prix d'achat considérablement diminuer, tout du moins en francs constants. Par contagion et par goût, les teen-agers des années 1960 devenus adultes vont continuer à se passionner pour la musique, et l'on assiste au développement de la haute fidélité.

### *Le disque : expansion ou disparition?*

L'irrésistible ascension du disque s'est faite grâce au 45 tours. Moins cher que le 33 tours, plus facilement transportable, de qualité technique inégale, mais toujours



T. Henstra - Camera Press

▲ ***Plus de 80 % des ménages français possèdent aujourd'hui un récepteur de télévision.***

▼ ***Le développement de l'édition musicale et de l'industrie phonographique est la manifestation la plus spectaculaire de notre ère de l'audio-visuel.***




D. Bouquignaud - Top




Y. Coatsaliou - Sygma

▲ *L'industrie du disque est en plein essor, et le MIDEM, gigantesque foire annuelle du disque, prouve sa bonne santé.*

audible même sur de petits électrophones portatifs, il réunissait les conditions idéales pour attirer les faveurs du public le plus jeune, c'est-à-dire de celui qui a justement favorisé son essor. Cependant, le désir de qualité s'est manifesté quand l'auditeur a pris de l'âge, et, hormis le « tube » que l'on écoute le temps d'une mode, la préférence s'est très vite manifestée pour le 33 tours, qui permet une écoute plus tranquille et de meilleure qualité.

Il s'est produit un phénomène d'osmose au cours de ces dernières années, qui a favorisé le développement d'autres genres musicaux. Musique classique et jazz ont largement profité du mouvement pop-music, et l'on a même assisté au lancement de véritables « tubes » classiques, comme l'*Adagio* d'Albinoni. L'industrie du spectacle est devenue indissolublement liée à celle de la phonographie. Une vedette se lance par le disque, et l'on assiste à ses concerts parce que l'on possède un de ses enregistrements. L'industrie du disque est en plein essor, et le MIDEM (Marché international du disque et de l'édition musicale), gigantesque foire annuelle du disque, prouve sa bonne santé.

Cependant, on assiste à une remise en cause continuelle du disque. Fragile, encombrant, nécessitant un matériel coûteux pour le reproduire, il fait l'objet d'attaques régulières. Le lancement des premières minicassettes et du lecteur portatif fut considéré par certains comme l'annonce de la mort du disque à plus ou moins longue échéance. Mais les producteurs et fabricants ne semblent pas vouloir le délaisser. Des techniques nouvelles sont à l'étude, qui permettent d'envisager un développement continu du disque; ces techniques consistent essentiellement en méthodes de lecture révolutionnaires, tel le laser, dont l'avantage essentiel est de ne pas entraîner d'usure du microsillon.

Depuis plusieurs années, un projet est en cours d'étude aux États-Unis. S'il se concrétisait, il sonnerait le glas tant du disque que de la cassette actuels. L'enregistrement serait réalisé sur un cristal minuscule dont la capacité représenterait des centaines d'heures d'audition : une sorte de microfilm musical. S'il se développe, il est cependant probable qu'il restera, du moins dans un premier temps, l'apanage de discothèques nationales, et non de particuliers.

### *La cassette ou la musique en boîte*

Les partisans du magnétophone ont trouvé dans la minicassette des avantages que ne présentaient pas les anciens lecteurs. Difficulté de rangement des bandes magnétiques, encombrement important du matériel, manipulations complexes, fragilité des bandes et des têtes faisaient reculer plus d'un amateur de musique enregistrée. Car si le véritable chasseur de sons continue à utiliser des magnétophones perfectionnés, il ne représente qu'un auditeur sur cent amateurs de ce type de reproduction sonore.

On peut considérer que l'avènement de la minicassette marque la naissance véritable du magnétophone, même si la France ne possède encore que peu d'équipements de ce type (27 % des ménages, pour 70 % aux États-Unis).

L'amélioration des techniques et le développement des lecteurs de cassettes haute fidélité ont largement contribué à ce développement. Aux bandes magnétiques à l'oxyde de fer et à l'oxyde de cobalt a succédé le ruban au bioxyde de chrome, permettant l'enregistrement de fréquences plus élevées. Mais le phénomène de distorsion est plus important sur ce dernier modèle que sur les précédents, ce qui a nécessité l'installation de systèmes « Dolby » ou « DNL » sur les appareils reproducteurs, systèmes destinés à réduire cette distorsion. La qualité de reproduction du système à cassettes n'a pas encore atteint celle du disque, et le lecteur de cassettes, même de haute fidélité, n'est encore considéré la plupart du temps que comme un auxiliaire de la reproduction par disque.

En réalité, la véritable évolution du système à cassettes s'est manifestée avec son installation dans la voiture, couplé ou non à l'auto-radio. En 1977, 60 % des véhicules français équipés d'auto-radios l'étaient aussi d'un lecteur de cassettes.

### *Haute fidélité ou piège de la mode?*

La chaîne haute fidélité est devenue un élément essentiel du train de vie, tant en France qu'en Europe ou aux États-Unis. Signe extérieur de richesse, elle attire des amateurs de plus en plus nombreux, et elle est devenue une nécessité pour tout jeune cadre qui se respecte. Mais ce moyen de reproduction fait davantage l'affaire de ses promoteurs plus qu'elle ne favorise le goût de la musique de qualité chez son client. Le « tableau de bord » rutilant ou la puissance annoncée impressionne plus l'amateur moyen que les qualités de reproduction. Qu'entend-on par haute fidélité ? Selon A. Ollagnon, « c'est l'absence d'infidélités perceptibles. Son but essentiel consiste dans une restitution de plus en plus fidèle de sons ». Cela implique plusieurs conditions : une chaîne ne vaut que par la valeur de ses différents éléments ; sa qualité de reproduction dépend de la dimension et des caractéristiques acoustiques de la pièce dans laquelle elle est installée. Peu d'installations tiennent compte de ces conditions fondamentales.

L'avènement des chaînes « compactes », c'est-à-dire regroupant en un seul élément les différents constituants de la chaîne, a été critiqué par les puristes de la « Hi-Fi », qui leur reprochent leur fidélité moindre et leur fragilité. Le succès qu'elles rencontrent auprès de la clientèle actuelle tend à prouver que cette simplification était nécessaire. De toute manière, il est à prévoir que les nouvelles techniques d'enregistrement bouleverseront très vite ce jeune marché. Le microcristal et la lecture par laser rendront sûrement d'ici quelques années les éléments actuels aussi « rétro » que le gramophone à pavillon de nos grands-pères.

De toute manière, la haute fidélité aura eu le mérite d'attirer vers la musique un nombre croissant d'auditeurs. Un ménage sur trois possède aujourd'hui au moins un appareil reproducteur. Contrairement à ce que l'on aurait pu penser, elle n'a pas fait déserter les salles de concerts, elle a concouru au contraire à les remplir. Pour ses loisirs, le Français consacre trois fois plus de temps à la musique qu'il y a vingt ans.

## *Photos, films et magnétoscope*

Notre civilisation de l'image se devait de déboucher sur une pratique active de l'audio-visuel. La baisse des coûts a entraîné une démocratisation certaine de la photographie et du film d'amateurs. La fabrication en grande série d'appareils simplifiés a permis de faire venir à la photo un grand nombre d'amateurs effrayés auparavant par les difficultés techniques.

Grâce au magnétoscope, le marché de l'image va encore s'agrandir davantage au cours des années à venir, et la télévision perdra ce rôle d'émetteur passif pour devenir un élément essentiel de l'équipement ménager, remplaçant peu à peu l'album de famille.

### *Photo et cinéma d'amateur*

Les Français possèdent aujourd'hui plus de quinze millions d'appareils photographiques, soit près d'un appareil par foyer. Il faut dire que les constructeurs ont tout fait pour réduire au minimum les difficultés techniques que peut poser la prise de vue. Grâce à l'électronique, même les appareils de bas de gamme sont équipés de dispositifs supprimant les réglages essentiels, c'est-à-dire l'ouverture du diaphragme et le temps de pose. Le flash, souvent incorporé, résout les problèmes posés par la photographie intérieure. Inventeurs et grands consommateurs de photographies, les Français sont paradoxalement peu techniciens en ce domaine. Sur les 15 millions d'appareils vendus, les trois quarts sont des modèles simplifiés à l'extrême et coûtent moins de 150 F. Ce fait, observé dans les autres pays occidentaux, explique le succès des appareils à développement instantané, même si le coût de la pellicule est encore élevé. La disparition du monopole du système Polaroïd devrait permettre une diffusion plus large de cette technique.

D'un coût nettement plus élevé que la photographie, le cinéma amateur est moins pratiqué. On compte trois millions de caméras utilisées en France. Contrairement à une idée toute faite, l'emploi de la caméra est plus facile que celui de l'appareil photo. Les caméras 8 mm sont aujourd'hui pratiquement abandonnées au profit du super 8. Si les plus simples d'entre elles ne permettent de faire que des films de vacances ou de souvenirs, les plus élaborées peuvent atteindre la qualité de caméras professionnelles.

Le propriétaire d'une caméra présente une caractéristique particulière : très vite, il cherche à réaliser de véritables films, au lieu de simples albums de souvenirs à projeter à la famille et aux amis. Cette tendance est d'autant plus répandue que des cinéastes professionnels ont montré l'exemple en tournant en 16 mm, et même en super 8, des films qui ont été « gonflés » par la suite pour permettre leur projection dans des salles de spectacles. Cette aspiration à une forme de professionnalisme correspond à une certaine réalité. En 1975, la télévision française a lancé un appel à tous les détenteurs de films d'amateurs pour réaliser une série d'émissions où les


G. Loucel - Fotogram

▲ *L'extension du pouvoir d'achat des adolescents a permis au disque, puis aux appareils reproducteurs, de se répandre et de voir leur prix d'achat diminuer en francs constants.*

▼ *Les Français possèdent aujourd'hui plus de quinze millions d'appareils photographiques, soit près d'un appareil par foyer.*


J.P. Bourret - Pitch

▶ *D'un coût nettement plus élevé que la photographie, le cinéma amateur est moins pratiqué.*



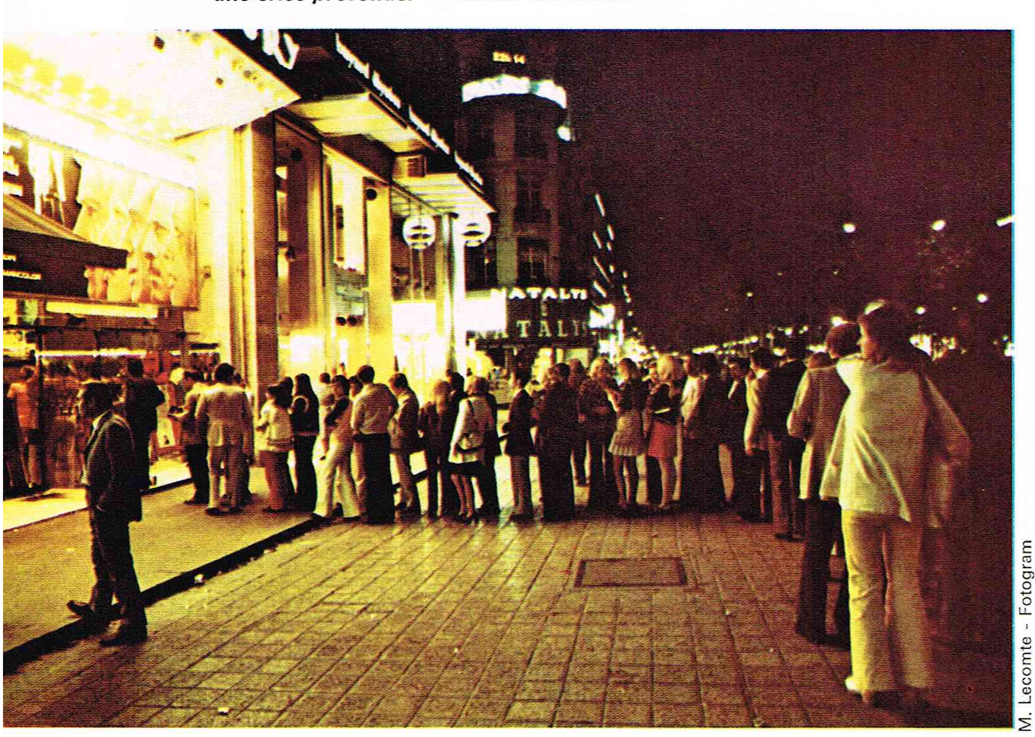
T. Henstra - Camera Press

▶ *Page ci-contre, la Comédie française de nuit; le théâtre traverse une crise, il est très difficile de prévoir s'il en sortira indemne.*

▼ *Premier divertissement audio-visuel par la fréquentation pendant de longues années, le cinéma traverse actuellement une crise profonde.*

réalisations les plus intéressantes seraient projetées. Non seulement les films affluèrent, mais leur qualité n'avait rien à envier à certains courts métrages professionnels.

Tout comme pour la photographie, les procédés de développement instantanés devraient favoriser l'essor du cinéma d'amateur.



M. Lecomte - Fotogram

### *La vidéo : un studio de télévision à la portée de tous*

Plus que le cinéma, c'est sans doute un autre type de technique qui entraînera un réel développement du film d'amateurs : la vidéo, procédé dérivé de la télévision et utilisable par elle. Un ensemble vidéo se compose d'une caméra, d'un magnétoscope (sorte de magnétophone à images) et d'un récepteur-contrôle adapté à la réception. Supprimant la phase de développement du film et permettant un contrôle immédiat de la qualité de l'image, il donne naturellement beaucoup plus de possibilités que le film amateur. D'un emploi aussi simple que le magnétophone, il est utilisable par tous. Le seul frein à son succès immédiat réside dans son prix (environ 10 000 F).

Avant qu'elle devienne à la portée de tous, la vidéo sera commercialisée sous d'autres formes, permettant sinon l'émission, du moins la réception d'émissions. Avec le seul magnétoscope, il est déjà possible en effet d'enregistrer films, spectacles de variétés ou toutes autres émissions sur vidéodisque ou vidéocassette et de les reprojeter à l'infini sur un simple récepteur de télévision. On peut ainsi se constituer une véritable vidéothèque et se projeter les plus belles heures du cinéma et de la télévision.

Enfin, lorsque la vidéo sera plus largement répandue, il deviendra possible de réaliser soi-même ses films et de les projeter à toute une ville, grâce à la diffusion par câble.

## *Théâtre et cinéma*

Le théâtre traverse une crise, et il est difficile de prévoir s'il en sortira. Sa fréquentation a diminué de moitié depuis la Dernière Guerre. En dehors des théâtres classiques et de ceux qui présentent des pièces de boulevard, rares sont les salles qui affichent complet plus de quelques semaines. Les structures se sont pourtant transformées pour lutter contre cette désaffection du public : la taille des salles a été réduite, les prix ont peu augmenté, les pièces présentées impliquent moins de protagonistes, etc. Il faut cependant se rendre à l'évidence : le théâtre n'a plus les faveurs du public.

En réalité — les déclarations des spectateurs potentiels le confirment — ce n'est pas le genre de spectacle qui est remis en cause (il suffit pour s'en rendre compte d'observer les indices d'écoute de l'émission télévisée « Au théâtre ce soir »), mais plutôt l'effort qu'il demande : effort pour louer les places, pour se déplacer, etc.

Sans aller jusqu'à prédire la disparition du théâtre sous sa forme traditionnelle — des réussites spectaculaires, comme celles du théâtre de Reims ou de celui de Lyon, contredisent cette théorie — on peut penser que le public délaissera cette forme de spectacle tant qu'elle ne lui apportera pas un renouveau de forme et de structure. Les expériences du Living Theatre, faisant appel à la participation du public, ou du Théâtre du Soleil d'Ariane Mnouchkine, permettent d'espérer qu'on évitera le pire.

### *Le cinéma : la fin d'un règne*

Premier divertissement audio-visuel par l'ancienneté et premier par la fréquentation durant de longues années, le cinéma traverse actuellement une crise profonde que ne peuvent masquer les nombres d'entrées de certaines productions spectaculaires. Alors que la photo et le cinéma amateur connaissaient de 1950 à 1962 un accroissement de consommation de 762,1 %, le cinéma accusait durant la même période une diminution de 85,7 %.

Ce phénomène semble dû en partie à l'évolution des spectateurs. Les classes ouvrière et paysanne ont davantage déserté les salles obscures que les étudiants et les cadres supérieurs; lorsque le cinéma redevient la distraction populaire qu'il a toujours été, les salles se remplissent à nouveau.

Mais c'est sans doute à la concurrence de la télévision que le cinéma doit d'avoir perdu une grande partie de son public. Offrant le même service, c'est-à-dire le même plaisir sonore et visuel, la télévision présente en outre le double avantage de ne pas obliger à se déplacer et de ne pas forcer à débourser une somme quelconque (même si la gratuité du spectacle télévisé n'est qu'apparente). Il reste au cinéma à produire des films à caractère popu-

Parimage






A. Picou - Fotogram

▲ *Il y a encore quelques années, le carnaval (ici, à Nice) permettait, dans de nombreuses villes de France et d'Europe, de « faire la fête ».*

laire et à offrir au spectateur des sensations nouvelles, qu'il ne pourra éprouver devant son récepteur. C'est ce qu'il tente de faire — et réussit — avec la vogue actuelle des films à catastrophe. Il est cependant difficile de dire ce que deviendra le cinéma lorsque le film en cassettes permettra à chacun de regarder chez soi les plus grands films de l'histoire du cinéma, aussi facilement que l'on glisse aujourd'hui une cassette dans un lecteur.

## Le bricolage

Pour les rois du système D, il était normal que le bricolage soit la première activité de détente des Français : neuf Français sur dix le pratiquent, ne serait-ce qu'une fois de temps en temps, sans toujours considérer qu'il s'agit là d'un loisir, mais bien plus souvent d'une nécessité.

Pratiqué pendant longtemps d'une manière anarchique et individualiste, il connaît maintenant un développement commercial et une organisation parfaitement structurée. Plus de 50 livres ou encyclopédies paraissent chaque année sur ce sujet. Trente revues mensuelles ou hebdomadaires sont éditées. Plus de 2 000 centres de bricolage (avatars modernes des anciennes drogueries) ont ouvert leurs portes en France.

Longtemps laissé à l'initiative individuelle, le bricolage a été aussi « récupéré » par le système commercial et s'est calqué, en France comme en Europe, sur le modèle américain. Le magasin spécialisé ne se contente plus de vendre outils et matériaux de base. Il fournit des kits (prêts-à-monter) de toute sorte : avec quelques heures de travail et beaucoup de patience, chacun peut construire des objets allant du poste de radio au bateau et même à l'avion, en passant par la copie d'un clavecin du XVIIIe siècle.

En réalité, il est difficile de considérer cela comme du bricolage pur. Le prix d'achat du coffret de montage dépasse la plupart du temps, lorsqu'on se donne la peine d'y ajouter celui des heures de travail, le prix réel de l'objet fini. Tout se passe en fait comme si le bricolage n'était qu'une sorte de professionnalisation parallèle. On peut tout y assimiler, depuis le travail au noir jusqu'à la plus sophistiquée des inventions proposées au concours Lépine (5 000 d'entre elles sont présentées chaque année). Les Français restent très prudents quand il s'agit de répondre à des questions portant sur le bricolage. A les en croire, nul ne toucherait jamais un outil de sa vie. Cependant, les ventes de perceuses, de scies électriques et autres instruments comparables ont été multipliées par cent en l'espace de dix ans.

## La fête

Jusqu'au XXe siècle, les seules occasions réelles de divertissement pour l'ensemble de la population se manifestèrent à travers les fêtes : royales ou populaires, religieuses ou laïques ; elles correspondaient à un besoin réel de défoulement. Avec le développement des industries du loisir et l'avènement des congés payés, bien des fêtes ont disparu, et nombreux sont ceux qui déplorent cet abandon graduel. Cependant, nous continuons à consacrer une part importante de notre temps de détente à des manifestations qui, si elles ne sont pas toujours considérées comme des fêtes, n'en apparaissent pas moins comme de nouvelles formes de celles-ci, plus adaptées à notre mode de vie.

### Fêtes traditionnelles, fêtes spontanées

Noël, le nouvel an, la fête des mères, autant d'occasions de « faire la fête » qui subsistent de nos jours. Chaque année, on annonce que jamais les Français n'ont acheté autant de cadeaux, dépensé autant d'argent pour les réveillons, quelles que soient les circonstances économiques. Il s'agit là pourtant de fêtes programmées, considérées davantage comme des obligations que comme des possibilités réelles de s'évader du quotidien. Acceptées par la force de l'habitude, elles ne correspondent pas à des besoins de licence comme ceux qui se sont manifestés de tout temps à l'égard des fêtes, si ce n'est à travers des manifestations parallèles comme le concert d'avertisseurs du 31 décembre.

C'est pourtant davantage dans ces explosions spontanées qu'apparaît la nécessité de la fête. Il y a encore quelques années, le carnaval permettait, dans de nombreuses villes de France et d'Europe, d'actionner cette soupape de sûreté. Abandonné ou récupéré au profit des commerçants de tous ordres, il ne permet plus cette explosion naturelle qui le caractérisait.

L'encadrement trop strict de la fête contribue largement à sa disparition. C'est ainsi que, malgré leurs excès, les journées de mai 1968 apparurent à beaucoup comme une sorte de gigantesque fête. Aujourd'hui encore, les bagarres qui suivent immanquablement les bals de pays correspondent en profondeur à ce besoin de défoulement. Ne trouvant pas matière à faire réellement la fête, on tente de la détruire.

### Festivals et fêtes politiques

De plus en plus, les villes organisent chaque année des festivals artistiques ou culturels, suivant en cela l'exemple donné par Avignon au début des années 1950. Le nombre même de ces festivals prouve l'intérêt que leur manifeste le public. Derrière l'alibi du spectacle se cache en réalité un besoin de fête. Qu'il s'agisse de concerts classiques ou de jazz, de représentations théâtrales classiques ou modernes, de ballets, l'action ne se déroule pas seulement sur la scène, mais aussi à l'extérieur de la salle, dans la rue, pendant des journées entières.

Les festivals estivals voient ainsi chaque année surgir un certain nombre de marginaux, et l'on peut retrouver un semblant d'esprit des fêtes du Moyen Age. Les hippies ont remplacé l'échoppe des boutiques, et les baladins ont resurgi sous la même forme. En effet, depuis quelques années, on assiste à une renaissance des jongleurs, bateleurs et autres cracheurs de feu. Il ne peut s'agir uniquement d'un mouvement sporadique. C'est bien des profondeurs qu'est réapparu la fête dans la rue.

Les festivals ne sont en réalité qu'un prétexte à la fête, et le spectacle réel est au dehors des murs.

D'une tout autre manière, les partis politiques ont relancé une forme de festivités avec leurs grandes réunions annuelles; conçues au départ comme moyen de recrutement et de financement, elles se sont élargies rapidement à d'autres activités. Encadrée, commercialisée, la fête politique a ouvert ses portes aux chanteurs et aux baladins. Initialement scène de propagande, elle a perdu quelque peu de cet aspect pour devenir scène tout court. Une fois de plus, le spectateur, même militant, a profité de cette occasion de se retrouver au sein d'un vaste groupe pour imposer son désir de fête.

### Fêtes communales et animation urbaine

Les fêtes votives ont tendance à disparaître dans les petits villages de campagne, de même que les kermesses et autres fêtes communales. Pour la plupart organisées par le clergé local, elles s'éteignent avec lui. Cela ne signifie pas pour autant la disparition de la fête : simplement la recherche d'une autre forme de divertissement, plus adaptée à l'évolution des mœurs.

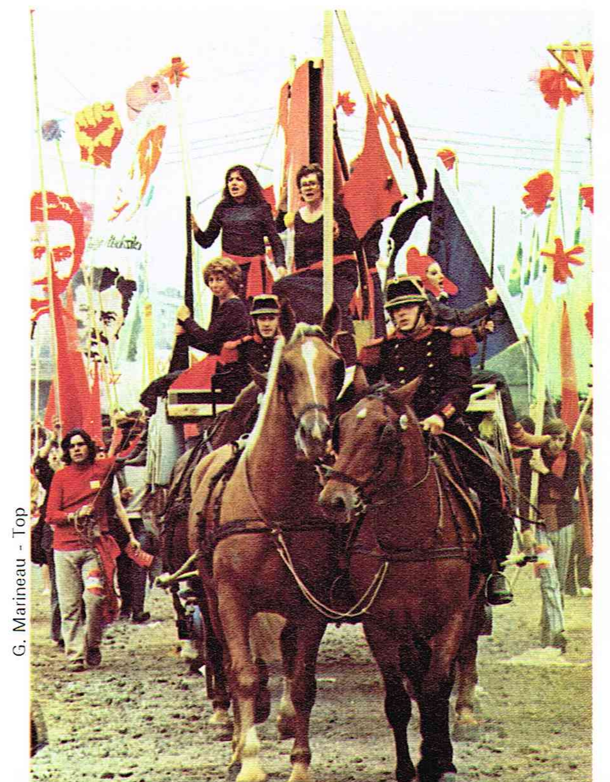
C'est ainsi que diverses expériences d'animation rurale ont été tentées depuis quelques années. Par exemple, plusieurs hameaux de l'Ardèche se sont regroupés pour préparer ensemble pendant six mois un spectacle sur un thème donné. Réticents de prime abord, les habitants se sont pris au jeu et montent chaque année une nouvelle création, pour leur seul bénéfice. Alors que la télévision avait supprimé cette forme de fête qu'était la veillée, ce type de manifestations a ainsi recréé un nouvel esprit de communauté.

Les villes cherchent, elles aussi, de plus en plus à retrouver une animation naturelle, en dehors des périodes estivales. Refusant de se cantonner dans l'organisation de festivals dont l'apport est essentiellement ponctuel, elles tentent, par des manifestations quotidiennes et gratuites, de se redonner une âme. Des équipes d'animation sont ainsi engagées pour concevoir et organiser, avec le concours de la population, une vie quotidienne différente, parsemée de petits événements formant une trame de fête permanente. Lancées il y a quelques années par plusieurs villes pilotes, notamment Grenoble et Angoulême, ces expériences ont rencontré un accueil favorable de la part des citadins, qui se sentent ainsi directement concernés par la vie de leur cité.


P. Putelat - Top


A. Picou - Fotogram

▲ ***De plus en plus, les villes organisent chaque année des festivals artistiques ou culturels, suivant en cela l'exemple donné par Avignon (en haut). Depuis quelques années, on assiste à une renaissance des jongleurs, des bateleurs ou des mimes, comme ici, sur le forum Beaubourg à Paris.***


G. Marineau - Top

◀ ***D'une tout autre manière, les partis politiques ont relancé une forme de festivité avec leurs grandes réunions annuelles : ici, la fête de « l'Huma ».***




A. Keler - Sygma

▲ *Devenu spectacle de masse, le sport se doit de satisfaire aux exigences du public (ici, départ d'un Tour de France).*

## Les sports

Plus de 200 magazines sont consacrés à tous les types de sports en France. Un quotidien, *l'Équipe,* tirant à 600 000 exemplaires, lui est exclusivement réservé. Radios et télévision lui consacrent en moyenne 10 % de leurs programmes. Pourtant, 39,4 % des adultes n'ont jamais pratiqué de sport; 32,6 % en ont pratiqué durant leur jeunesse mais ne s'y adonnent plus; 15,1 % pratiquent un sport de manière irrégulière et 14,9 % de manière régulière.

A comparer ces chiffres, il apparaît que les Français considèrent le sport avant tout comme un spectacle et qu'ils pratiquent pour toute activité physique la contemplation de la télévision! Or, si cette observation reste valable pour l'adulte actuel, les choses ont considérablement évolué depuis une dizaine d'années. Les inscriptions de jeunes aux différentes fédérations se multiplient. On assiste à un regain d'intérêt pour le sport. Prise de conscience et efforts des éducateurs, influence et soutien de l'État, influence des parents, tout a sans doute concouru à cette évolution. Mais il ne faut pas sous-estimer l'élément primordial que représente la télévision en ce domaine. Paradoxalement, si celle-ci a favorisé l'apathie des adultes, elle a en même temps développé chez l'enfant le désir de pratiquer un sport. Les médailles d'un Jean-Claude Killy et les buts marqués par Saint-Étienne ont fait davantage pour la promotion du sport en France que tous les efforts de recrutement. Les inscriptions dans les fédérations sont fonction des victoires que nos vedettes sportives remportent dans leur domaine.

Loisir apprécié du plus grand nombre, le sport est aussi tributaire de techniques; se voulant amateur, il est aussi professionnel; action, il est la plupart du temps perçu comme spectacle. Le sport porte en soi ses contradictions, et vouloir le définir est déjà le restreindre. Étymologiquement cependant, il est avant tout un jeu. En effet, le mot sport vient du vieux français « desport », qui signifie s'amuser, de toutes les manières. Lorsqu'il passe en Angleterre, le mot s'applique aux jeunes nobles qui ont le temps de se livrer à des occupations divertissantes. Il revient alors en français avec le sens de compétition et perd de son caractère de classe, tout en conservant sa signification de loisir. Peut-on aujourd'hui encore parler du sport comme d'un réel loisir?

### Le sport est-il encore un jeu?

Peut-on parler du même loisir lorsque, amateur-spectateur, on regarde un match de football à la télévision, lorsqu'on se déplace pour encourager l'équipe de son cœur, lorsqu'on pratique le football de temps à autre, le dimanche matin, ou lorsque l'on fait partie d'une équipe, même d'amateurs?

Pourtant, ces quatre attitudes correspondent au même terme de sport ou sportif. Si le sport est défini comme une pratique suivie, dans ce cas seuls 6 à 10 % de la population française (chiffre d'ailleurs équivalent pour les autres nations) font réellement du sport. Encore faut-il ajouter que les quatre cinquièmes de ce nombre ont entre 15 et 24 ans.

En fait, il paraît aberrant de limiter le sport à sa pratique exclusive ou à une affiliation à un club quelconque. Ce n'est pas parce que l'on se contente d'assister à un match devant son récepteur de télévision que le sport ne représente pas un loisir. Dans ce cas, le spectateur des salles de concerts ne pourrait être considéré comme un amateur de musique. Tout se passe comme s'il ne manquait aux Français que l'occasion de pratiquer. Le cross annuel du *Figaro*, qui compta plus de 23 000 participants, amateurs pour la plupart, en est la preuve.

Finalement, c'est lorsque l'on arrive à un haut degré de pratique qu'il devient difficile de considérer le sportif comme un réel amateur, notamment en athlétisme.

### Technicité et commercialisation du sport

Devenu spectacle de masse, le sport se doit de satisfaire aux exigences du public. La première d'entre elles est de voir tomber les records; cette volonté a entraîné une technicité de plus en plus complexe; la « glorieuse incertitude » du sport est réduite au strict minimum. La recherche de la meilleure compétitivité a transformé une activité improvisée en véritable science. Cette technicité se manifeste sur trois plans: amélioration des performances physiques, amélioration des matériaux utilisés, amélioration des instruments de contrôle.

Les performances individuelles ne sont pas isolées des influences techniques. En 1896, le 100 m était remporté aux Jeux olympiques en 12 secondes. En 1968, Hines passait la barre, considérée comme infranchissable, des 10 s en réalisant 9,95 s. L'évolution morphologique ne suffit pas à expliquer ce progrès. Les techniques d'en-

J.-P. Laffont - Sygma

traînement, la diététique, le suivi médical ont largement contribué au gain de ces 2 s. A tel point que certains pays ont pu être accusés de pratiquer une forme de dopage sur leurs athlètes. Les techniques même de pratique ont favorisé cet essor (notamment, pour le saut en hauteur, le « Fosbury Flop », utilisé en 1968 pour la première fois).

La recherche de nouveaux matériaux plus compétitifs fait aussi partie de l'évolution des sports. La fibre de verre, si elle a transformé la vie du pêcheur, a surtout considérablement fait évoluer les prouesses des sauteurs à la perche. Enfin, l'électronique appliquée aux contrôles des temps a permis, en donnant une précision inconnue jusqu'alors, de motiver davantage les sportifs.

Cette évolution des techniques est comparable à un système économique : création de techniques, incitation au rendement, et enfin, contrôle. Le sport devient alors un phénomène économique. S'il ne rapporte pas toujours sur le plan monétaire, il est porteur d'idéologie. Cette évolution est sensible en tout pays, et le nombre de médailles emportées aux Jeux olympiques peut avoir autant d'importance au plan politique qu'à celui de l'évolution de l'économie.

### *Amateurisme et professionnalisme*

Étant au départ défini comme loisir, il était naturel que le sport fût fondé sur la notion d'amateurisme. Mais pour maintenir cette image de marque, il eût fallu qu'il restât réservé à de petits cercles, que la notion de record n'entrât pas en ligne de compte, ni, par voie de conséquence, celle de compétition.

On comprend aisément qu'en matière de course automobile, de tir ou de tout autre sport faisant spécifiquement référence à une technique, on envisage une évolution passant par des progrès technologiques, mais on peut s'étonner de voir cette notion s'implanter dans l'athlétisme. Cependant, il faut se rendre à l'évidence : le sport tel que l'envisageait le baron Pierre de Coubertin est mort. Les nations qui ne remportent pas de médailles aux Jeux olympiques sont celles qui croient encore à une éthique sportive fondée sur l'amateurisme. États-Unis, Allemagne de l'Ouest, Allemagne de l'Est et Union soviétique ont évolué dans le même sens. L'athlète est formé pour le sport, pour remporter des médailles. Le schéma de production se retrouve dans le sport comme dans le commerce : compétitivité, contrôle, production. Depuis 1936, les Jeux olympiques sont devenus le théâtre d'une lutte d'influence : les batailles se gagnent autant sur le terrain sportif que sur le terrain politique ou militaire.

Peut-on encore réellement parler de loisir lorsque le sport devient pure technique ? Ne devrait-on pas davantage évoquer le mot d'industrie ?

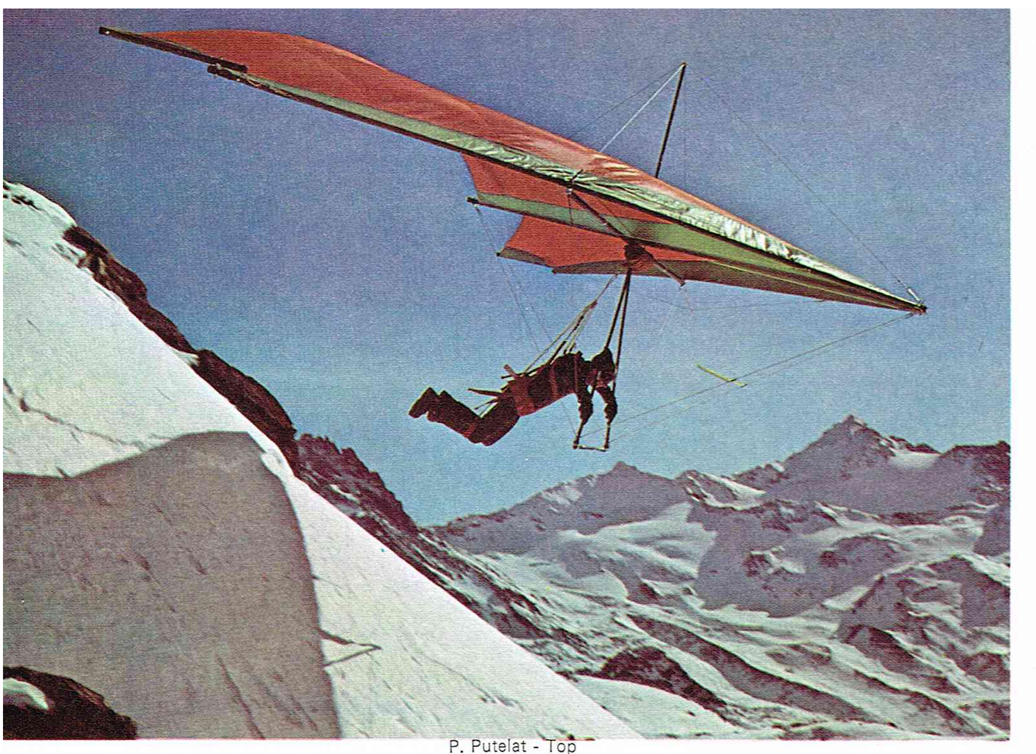
Qui récupère qui ? Les skis X lorsque Jean-Claude Killy remporte trois médailles d'or ou le ski français, poussé et motivé par les victoires de ce même champion ? Les victoires de Saint-Étienne en Coupe d'Europe ont joué davantage en faveur du football que l'entraînement scolaire. On a appris d'autre part que le champion suisse de ski en 1977 utilisait un matériel standard. La technique n'aurait-elle rien à voir avec la réussite personnelle ? Le record ne signifie rien. La pratique d'un sport semble par contre essentielle.

▲ ***La recherche de la meilleure compétitivité a transformé une activité improvisée en véritable science (ici, la finale du saut à la perche aux Jeux olympiques de Montréal en juillet 1976).***



Robin - Fotogram

▼ ***Peut-on encore parler de loisir lorsque le sport devient pure technique?***



P. Putelat - Top

▲ *Le deltaplane (ou vol libre) se pratique désormais n'importe où.*

Ainsi, il devient impossible à l'amateur de rester compétitif s'il n'entre pas dans le système sportif « productif ». Le véritable esprit sportif n'est plus qu'une apparence. L'athlète, s'il veut conserver la vedette, et le mot prend ici tout son sens, n'a d'autre possibilité de le faire que par le professionnalisme. Même si les apparences sont sauvegardées, c'est-à-dire lorsqu'il est en quelque sorte subventionné, on ne peut considérer qu'il s'agisse encore là de réel amateurisme. Le sport est devenu spectacle et se doit d'être rentable pour faire suffisamment d'entrées.

### *Le sport dans la rue*

Face à cette évolution de l'esprit comme de la pratique des sports, on peut penser qu'en se démocratisant, le véritable sport est devenu une affaire exclusivement populaire, qui se situe hors des compétitions, hors des stades. Que disent les chiffres ? Les sports les plus pratiqués en France sont le football (1 046 068 licenciés en 1975), le ski (538 431 licenciés), le judo (375 937 licenciés) et la pétanque (327 562 licenciés). A l'exception du ski, qui ne demande d'ailleurs pas nécessairement un matériel compliqué lorsqu'il est pratiqué pour le plaisir, ces quatre sports les plus populaires ne font aucunement appel à une technique sophistiquée.

On assiste donc à une scission de plus en plus nette entre le stade et la rue. Au premier le professionnalisme et le vedettariat, à la seconde le véritable amateurisme et la gratuité. Pour cette seconde catégorie, il devient d'ailleurs de plus en plus difficile de faire la part des choses entre sport et loisir. Les défenseurs et pratiquants de la chasse (ils sont 2 214 000 en France) considèrent cette activité comme essentiellement sportive, tout du moins est-ce là l'argument le plus fréquemment utilisé pour justifier leur goût. De la même manière, plus de cinq millions d'amateurs s'adonnent à la pêche, considérée par contre essentiellement comme une détente. Mais c'est en créant ainsi une distinction nette entre sport et loisir que l'on supprime la notion même d'esprit sportif. En perdant cet aspect de détente, et donc de gratuité, toute activité sportive conduit immanquablement au professionnalisme.

### *Sports écologiques*

Il arrive fréquemment que de nouveaux sports fassent leur apparition ; ils correspondent le plus souvent à une mode, et il est difficile de prévoir leur évolution. C'est ainsi qu'après avoir fait fureur au cours des années 1960, le karting connaît une nette régression. L'évolution des techniques est pour beaucoup dans ces transformations, mais c'est sans nul doute au phénomène écologique que l'on doit l'engouement actuel pour de nouvelles pratiques sportives.

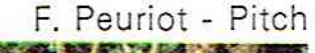
Tout ce qui fait appel aux éléments naturels a contribué à lancer ou à développer ces modes. La mer avait permis le surf, mais l'absence de rouleaux ne le rendait praticable qu'en de rares endroits des côtes françaises. Qu'importe, le wind-surfer (planche à voile) se développa. Né en 1969 aux États-Unis, ce sport compte aujourd'hui 7 000 adeptes en France. Le vol à voile n'était pas accessible à tous ? On crée le Deltaplane (ou vol libre). Tracté tout d'abord en ski nautique, il se libère en 1968 de toute attache et se pratique n'importe où, pourvu qu'il y ait une dénivellation suffisante. Même si celle-ci n'existe pas, on y pourvoit artificiellement. En 1977, un Anglais traverse ainsi la Manche, après avoir été largué à 6 000 mètres d'altitude du haut d'une montgolfière. Cette dernière revient même à la mode, puisque quatre écoles de pilotage existent en France.

L'évolution économique restreint les possibilités de consommation d'essence ? Alors, le char à voile, déjà pratiqué en Égypte et dans la Chine anciennes, renaît et se développe (600 licenciés en France). Quant au patin à roulettes traditionnel, il subit lui aussi l'évolution des mœurs et se transforme en skate-board (planche à roulettes) ; 400 000 de ces petits bolides ont été vendus en France en 1977 (plus de 20 000 000 aux États-Unis). Ce qui hier encore n'était qu'un jeu est en passe de devenir un sport avec ses pistes, ses compétitions et ses vedettes, puisqu'il serait question que le skate-board soit reconnu comme discipline olympique.

▼ *A gauche, le wind-surfer compte aujourd'hui 7 000 adeptes en France. A droite, la pétanque, avec 327 562 licenciés, fait partie des sports les plus pratiqués par les Français, après le football, le ski et le judo.*

J.-G. Ferrero - Pitch






### *Le sport en l'An 2000 : simplicité et grand spectacle*

Même s'il est trop tôt pour faire la part de ce qui n'est qu'une mode et de ce qui sera couramment pratiqué demain, on peut prévoir à travers l'évolution actuelle du sport à quoi ressemblera cette activité dans quelques années. Il y a de fortes chances pour que le sport de grande compétition se développe de plus en plus, bénéficiant de l'apport croissant de la télévision. En élargissant ainsi le public, en développant une forme de chauvinisme à laquelle il paraît difficile d'échapper, le sport de spectacle évolue vers une commercialisation à outrance ainsi que vers un professionnalisme total. La civilisation des loisirs est inséparable du spectacle, et sans revenir aux jeux du cirque romain, on peut parfaitement concevoir qu'un film comme *Rollerball* devienne une réalité.

Parallèlement à cette évolution, le mouvement en faveur de sports de délassement pur doit s'amplifier, à la faveur du phénomène écologiste déjà évoqué. L'engouement pour la bicyclette n'est plus seulement une toquade. La « petite reine » est redevenue un instrument de détente, et même un moyen de transport. Pliante, elle est facile à transporter, plus légère et plus maniable, elle est accessible à tous. Tout favorise d'ailleurs son essor. Seize gares de la région parisienne proposent des bicyclettes de location et des itinéraires de petite randonnée ont été répertoriés dans toute la France.

La marche devrait elle aussi se développer. Déjà 21 000 kilomètres de sentiers de grande randonnée sont balisés en 1978. Si les amateurs de trekking (randonnée en moyenne montagne, au Népal notamment) sont encore très peu nombreux, ce sport se développe sur toutes nos montagnes.

### *Aménagement des infrastructures*

Répondant à ce désir manifeste de considérer le sport comme loisir, on assiste depuis quelques années à un développement considérable des structures d'accueil et de pratiques sportives, tant en France qu'à l'étranger. Le phénomène le plus remarquable est celui des sports d'hiver. Chaque année, on remarque une augmentation du nombre de vacanciers allant de 10 à 15 %. En 10 ans, plus de 200 000 lits ont été créés. Près de 40 stations accueillent chaque année 2 500 000 à 3 millions de skieurs. L'aménagement de ces stations évolue de la même manière : consacrées à l'origine au ski de descente, elles s'ouvrent de plus en plus largement au ski de randonnée. Pour pallier la défection des éléments naturels, certaines se sont dotées d'un canon à neige.

Les stations d'été ont subi la même évolution. Longtemps l'apanage des petites plages ou villes balnéaires, les vacances d'été ont, en se démocratisant, favorisé la naissance d'immenses complexes touristiques, notamment sur la côte méditerranéenne. L'aménagement du Languedoc-Roussillon a prouvé qu'il était possible de créer, de toute pièce, des structures d'accueil.

Ces stations sont généralement bien conçues sur le plan des équipements sportifs ; il a fallu cependant rapidement mettre en place des modules d'animation pour pallier leur manque de vie réelle. Le succès du sport « clefs en main » s'est surtout manifesté à travers l'essor considérable des villages de vacances, qui présentent l'avantage de proposer la formation et la pratique de techniques relativement onéreuses, comme la voile, l'équitation et la plongée sous-marine.

Longtemps boudées des Français, les vacances à la campagne ont elles aussi bénéficié de l'aménagement de structures d'accueil. Le « tourisme vert » s'est organisé au cours des cinq dernières années en regroupant les habitants désireux de loger des touristes ainsi qu'en créant des activités sportives et même artisanales.

Parallèlement, le camping s'est considérablement développé, grâce au succès grandissant du caravanning (on dénombrait, en 1977, 600 000 caravanes en France). Les terrains de camping, dont le nombre a triplé en dix ans, ont suivi cette évolution. Après s'être électrifiés, avoir installé l'eau courante et créé des boutiques de vente, ils se munissent petit à petit de structures d'animation, aussi bien sportive que de détente pure. On en arrive en réalité à la création de véritables villages de vacances de toile.

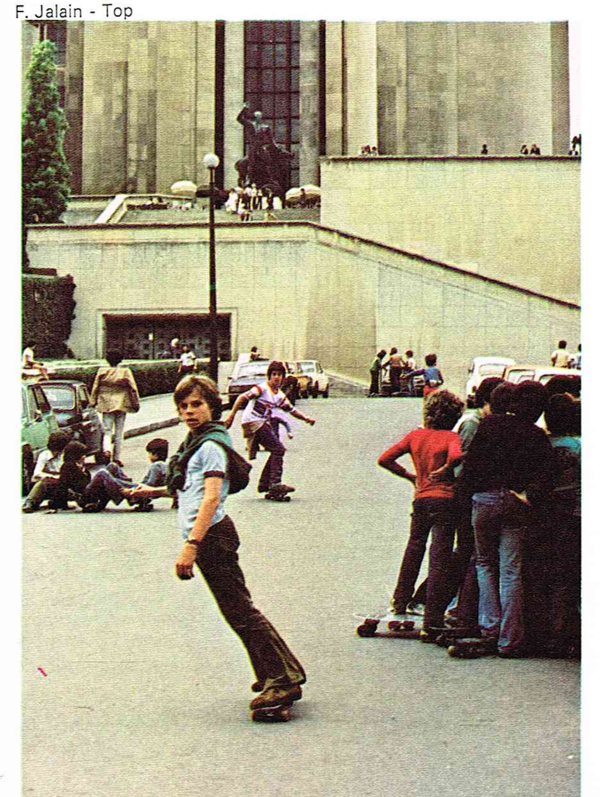

J. Guillot - Top



Fotogram

***▲ En haut, l'engouement pour la bicyclette n'est plus seulement une toquade. Ci-dessus, les vacances d'été ont, en se démocratisant, favorisé la naissance d'immenses complexes touristiques, notamment sur la côte méditerranéenne (La Grande Motte - Hérault).***

F. Jalain - Top



***◀ Le skate-board : ce qui hier n'était qu'un jeu est en passe de devenir un sport à part entière.***



P. Lebrun - Parimage

▲ *Les clubs du troisième âge : pour donner aux retraités une place réelle dans notre société des loisirs.*

## Les loisirs du troisième âge

8 % de la population mondiale est âgé de plus de 60 ans. En France, les plus de 65 ans auront augmenté en l'an 2000 de 29 % par rapport à 1970. Cette population, à qui l'on a donné le nom peu poétique de « troisième âge », ne cesse d'augmenter, tandis qu'en même temps l'espérance de vie se prolonge et que l'âge de la retraite est avancé. Souvent isolés de leurs familles, ayant perdu les privilèges de l'âge, les retraités n'ont plus de place réelle dans notre société des loisirs.

Cependant, depuis quelques années, deux phénomènes ont commencé à transformer le sort du troisième âge : les clubs et l'université. La nécessité d'agir en faveur des personnes âgées a été paradoxalement ressentie chez les jeunes générations, notamment dans le cadre des Maisons de jeunes et de la culture.

▶ *Page ci-contre, le Club Méditerranée a mis à la portée de tous la pratique de sports variés et lancé un mode de loisirs inconnu jusqu'alors.*

### Les clubs du troisième âge

En 1977, il existe 10 700 clubs fréquentés par 2 000 000 de personnes. Le mouvement est né dans certaines MJC où animateurs et jeunes gens décidèrent de briser la solitude des personnes âgées de leur quartier et de leur assurer un certain nombre de possibilités de loisirs. Lieux de rencontres à l'origine, ces clubs ont débouché très vite sur des types d'activités très divers. Les ateliers de bricolage, d'artisanat, de photographie se sont multipliés.

Petit à petit, les retraités ont pris eux-mêmes en main l'organisation de leurs loisirs. On assiste aujourd'hui dans ces clubs à la reconstitution d'une minisociété, adaptée au rythme de vie des personnes du troisième âge. Cette société a recréé un encadrement calqué sur celui de la vie active. L'ancien instituteur y redevient naturellement formateur : les rôles sociaux sont réinstitués.

### L'université du troisième âge : l'art de réapprendre la vie

Si la formule du club paraît séduisante, elle présente l'inconvénient de cantonner les personnes âgées dans leur milieu et de les isoler du monde extérieur. Or l'âge de la retraite, c'est aussi l'âge de la liberté retrouvée. Ce qui était corvée durant la vie active peut tout à coup devenir plaisir à l'âge de la retraite. Le mot loisir ne prend alors plus le même sens qu'auparavant. C'est à partir de cette constatation qu'a été fondée à Toulouse, en 1973, la première université du troisième âge. Depuis lors, une douzaine d'autres centres semblables ont ouvert leurs portes, pour répondre aux nombreuses demandes.

Pour éviter l'écueil du cloisonnement, les générations se mêlent sur les bancs de ces universités. Les programmes sont conçus entre professeurs et étudiants, de même que sont établis les horaires. Les sujets abordés sont multiples : langues étrangères, mathématiques, vie politique, français, droit ; ils correspondent entièrement aux cours donnés dans les universités d'origine.

Certaines universités consacrent aussi une partie de leurs programmes à l'artisanat. Le sport n'est pas oublié, pas plus que les contacts avec le monde extérieur par le biais de visites organisées.

## Loisirs organisés et vacances insolites

Créé en 1950, le Club Méditerranée a lancé un mode de loisirs inconnu jusqu'alors. Son succès retentissant tient au fait qu'il prend en charge la totalité des loisirs du vacancier, le libérant de tout souci matériel, puisque même l'argent est transformé en « colliers » de troc. Chaque village (76 en 1977) a ses spécialités sportives, allant de la voile à l'escalade, et met à la portée de tous la pratique de ces sports. Ce phénomène est particulièrement intéressant, car il correspond à une tendance généralisée qui s'est maintenue jusqu'à ce jour : l'unification des modes de vie pendant les vacances, ainsi que la fusion des couches sociales. C'est ainsi que la clientèle du club compte 55 % d'employés, 35 % de profession libérales et 10 % d'étudiants. A la vie sportive, il a tenté d'allier une vie culturelle en créant des soirées de concerts classiques, des soirées théâtrales, artistiques.

Il faut noter que le principe du Club a été repris par de nombreuses organisations parfois plus anciennes, comme le Touring Club de France, les Villages Vacances Famille. C'est ainsi que plus de 1 500 personnes pratiquent en France ce type de loisirs. Le succès des clubs étrangers promus par les agences de voyage prouve qu'il s'agit bien là d'un choix d'époque.

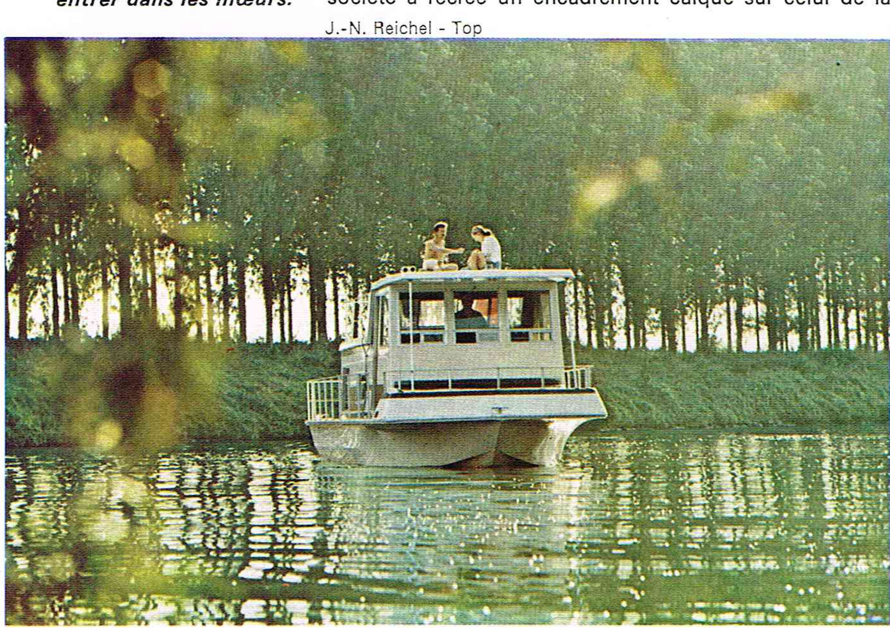
Depuis quelque temps, cependant, on assiste à une évolution des goûts chez l'amateur de voyages organisés. On ressent comme une sorte de lassitude vis-à-vis des loisirs de groupe, qui se manifeste par le choix de plus en plus fréquent du voyage « à la carte » où le touriste choisit de partir individuellement, sur un programme qu'il définit lui-même, l'agence de voyage ne servant alors que d'organisateur et de relais aux différentes étapes.

Cette transformation progressive a conduit les organismes touristiques à créer un certain nombre de formes de vacances encore appelées « insolites », mais qui paraissent devoir entrer dans les mœurs. Le souci d'indépendance du vacancier moderne peut ainsi s'exprimer à travers un voyage en roulotte sur les routes d'Irlande ou du Massif central, dans la traversée du Sahara en Land-Rover, dans la navigation fluviale à bord d'un house-boat ou dans une expédition le long du Niger en pays Dogon.

Plus qu'une mode, cette orientation actuelle des vacances démontre une évolution de mentalité. La découverte de nouvelles contrées perd de son intérêt si elle n'est pas faite au rythme de la vie quotidienne indigène. Il se crée un besoin de découvrir le monde, non plus en touriste, mais d'une manière approfondie. A la soif de connaissance a succédé une soif de communication avec le monde et avec les autres. L'exotisme n'est plus dans les paréos des vahinés, il réside dans une ferme du Cantal. Le succès du « tourisme vert » relève du même phénomène.

▼ *Vacances insolites, le house-boat ou la roulotte paraissent devoir entrer dans les mœurs.*

J.-N. Reichel - Top



M. Kuh - Camera Press


VENDREDI 13



J.-N. Reichel - Top

▲ *Pêcher, chasser et cultiver, cela correspond à un atavisme profond.*

▶ *Page ci-contre, le* pop *: une nouvelle forme artistique qui manifeste surtout la volonté du public de trouver un langage qui lui soit perceptible (ici, un groupe de pop-music).*

▼ *On remplace le safari meurtrier par le safari-photo pour protéger les espèces en voie de disparition.*



A. Picou - Fotogram

## Les loisirs de demain

Quelle que soit la forme de loisirs envisagée, on s'aperçoit qu'ils ont connu dans cette seconde moitié du XX^e^ siècle une évolution semblable. Le processus en a été le suivant : mécanisation (ou meilleure connaissance par développement de l'information), industrialisation, démocratisation et organisation d'infrastructures à une grande échelle.

A peine ce phénomène de masse s'est-il manifesté qu'une volonté d'individualisme dans les loisirs s'est développée, sans doute par refus de l'industrialisation. Tout se passe comme s'il n'y avait pas naissance d'une civilisation des loisirs, mais plutôt naissance d'une commercialisation de ceux-ci. Une véritable civilisation des loisirs s'appuierait sur une répartition *quotidienne* du temps de détente. Or depuis la naissance des congés payés, le temps consacré aux loisirs s'est accru annuellement (la durée des vacances a été allongée) mais non ponctuellement. Le temps imparti à la détente ne peut être compressible si l'on veut parler de loisirs.

On assiste cependant depuis quelque temps à une sorte d' « autogestion » du loisir personnel, qui se manifeste à travers des phénomènes de masse, qui ne peuvent uniquement s'expliquer par une volonté passagère. Tout se passe comme si notre société reprenait ces constantes pour créer des modes et les industrialiser. Loisir et détente semblent faire partie de nos rares occupations échappant à un quelconque instinct grégaire, tout du moins lorsqu'il y a choix et action de la part de l'individu, et non plus seulement soumission à un spectacle imposé (télévision, par exemple). L'évolution paraît devoir aller vers ce libre arbitre, et cela permet d'envisager ce que sera réellement une société des loisirs, peut-être celle de l'an 2000.

## Du jardinage à l'artisanat

Toute activité obligatoire pour la survie de l'espèce à une époque donnée de notre histoire paraît s'être transformée par la suite en loisir. Planter du maïs pour se nourrir n'est jamais apparu comme une détente pour les professionnels de l'agriculture ; par contre, à peine le citadin a-t-il le temps et l'espace nécessaires pour se constituer un jardin potager dans sa résidence secondaire que le jardinage devient loisir. Cultiver son jardin devient synonyme de retraite, donc de possibilité de choisir son occupation. Ce qui n'est plus contrainte devient plaisir. Si la France compte autant de pêcheurs, de chasseurs et de jardiniers, c'est que cela correspond à un atavisme profond. Ce qui était nécessité devient jeu et l'on en arrive à une conception du loisir mi-utilitariste, mi-ludique.

L'avenir de ces occupations est déjà tracé. Les préoccupations de sauvegarde de la nature viennent au secours des activités de détente : on plante des radis parce que l'on n'en trouve plus de comestibles sur le marché, on élève des lapins pour les mêmes raisons, et l'on remplace le safari meurtrier par le safari-photo pour protéger les espèces en voie de disparition.

Ici apparaît la première manifestation de la volonté du consommateur de loisirs, face à une industrie qui souhaiterait lui imposer ses règles : la défense des bébés-phoques passe avant les intérêts des manufactures d'armes. Même s'il se crée une industrie de sauvegarde, elle aura été imposée par l'individu.

Le bricolage a évolué de manière semblable. Activité secondaire (dont le travail « au noir » reste l'un des avatars), elle représente néanmoins la plus grande partie du temps consacré aux loisirs ; échappant au système économique, elle a été reprise par ceux-ci. Les développements du kit, du « *do it yourself* » (faites-le vous-même), et des nombreux commerces consacrés au bricolage en sont la preuve. Même ainsi récupérée, cette volonté implique un choix de retour à la création individuelle, échappant à l'emprise de la technique.

On retrouve ce phénomène dans l'essor des stages consacrés à l'artisanat. Alors qu'il s'agit bel et bien d'un travail, cette activité est prise sur le temps de loisir. Suivre des cours de poterie dans l'Aveyron, de tissage dans le Vaucluse ne correspond plus à une recherche de profit matériel, mais bien à un gain personnel. On a l'impression qu'au même moment où l'homme a pris conscience de la nécessité de protéger les richesses naturelles qui l'entourent, il a cherché à se protéger lui-même.

## *De l'artisanat à l'art*

A l'époque où les esthètes se plaignent d'une stagnation de la peinture ou de la musique, on n'a jamais compté tant de peintres du dimanche et d'orchestres amateurs. Les Anglo-Saxons ont même créé le mot *pop* (populaire), qui s'applique aussi bien à la musique (pop-music) qu'à la peinture ou à la sculpture (pop'art), pour définir cette nouvelle forme artistique. Si elle définit un art destiné au public, elle manifeste surtout la volonté de ce même public de trouver un langage qui lui soit perceptible.

Notre civilisation est celle du facteur Cheval comme celle du concours Lépine. L'œuvre d'art s'est démystifiée en descendant dans la rue, elle n'est plus seulement réservée à des artistes, mais est devenue accessible aux amateurs. Le cas des arts plastiques n'est pas unique, mais se retrouve aussi dans l'écriture : alors que peu de personnes lisent réellement, il arrive en moyenne chaque jour cinquante à cent manuscrits sur le bureau des grands éditeurs. Il ne s'agit plus d'écrire pour être lu, mais d'écrire pour agir, pour se détendre. Quel propriétaire d'une caméra Super 8 mm n'a pas au moins une fois tenté de réaliser un film d'imagination pure ? En 1969, la municipalité de Montpellier a installé dans un jardin public un mur régulièrement reblanchi sur lequel chacun peut venir écrire une phrase, dessiner une caricature ou s'exercer au graffiti. Le mur ne cesse d'être recouvert d'inscriptions. Plus qu'un besoin de s'exprimer, c'est un désir de création personnelle qui se manifeste ainsi. On assiste à un jaillissement spontané de l'art populaire qui, débarrassé du qualificatif « naïf » qui le caractérisait auparavant, devient une constante des loisirs actuels.

L'expression artistique à la portée de chacun, voici l'un des facteurs de l'évolution des loisirs dans l'avenir. Ainsi, depuis 1968, les murs ont la parole, et les affiches publicitaires deviennent le support d'une expression qui touche sinon à la philosophie, du moins à l'expression de la sagesse populaire. Là encore, il faut noter que ce mouvement spontané a été repris par notre société de loisirs de consommation, puisque des éditeurs ont réalisé plusieurs livres recueillant les meilleures manifestations de cette volonté d'expression.

## *De la culture à l'intellect*

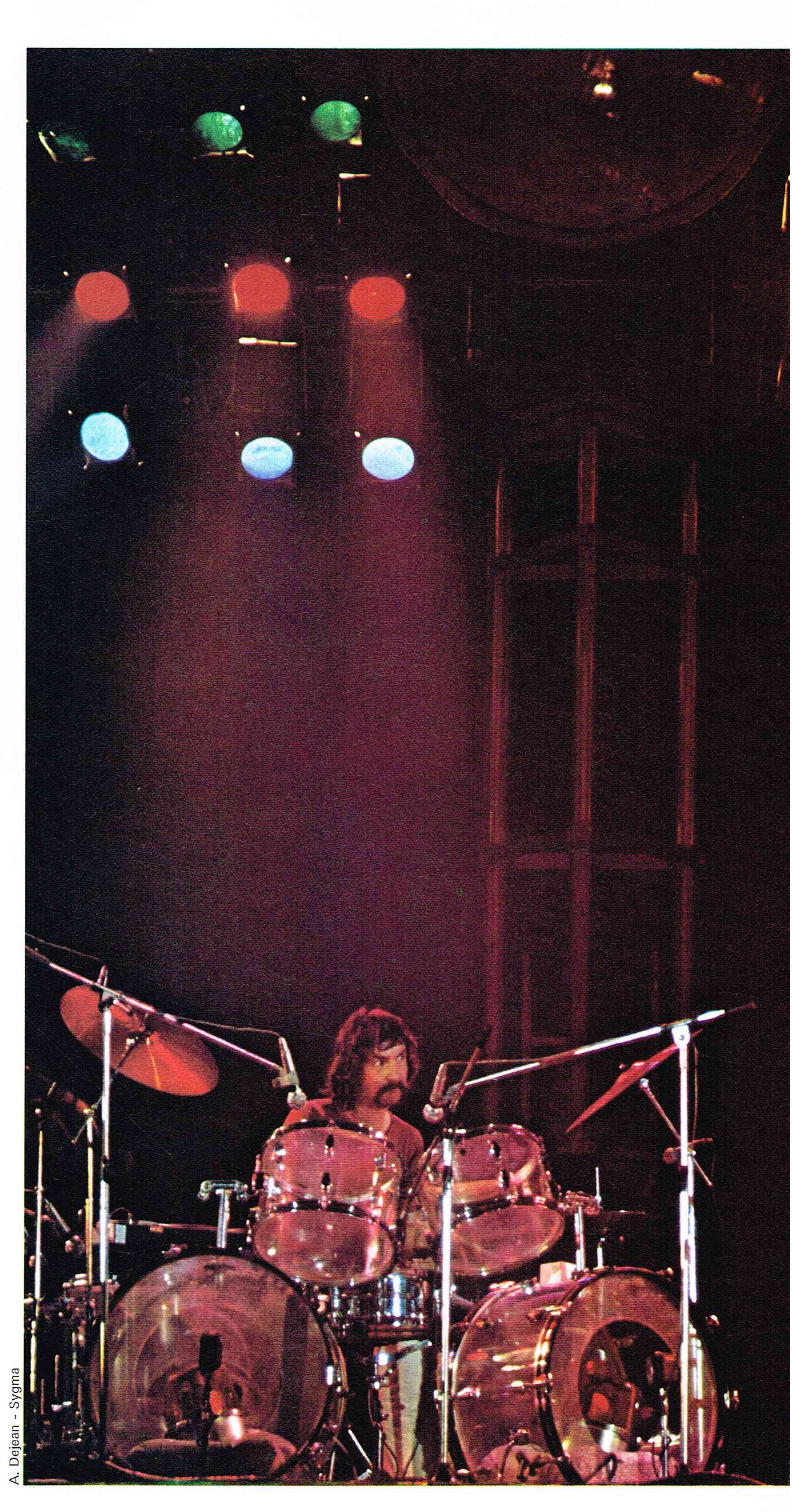
Pendant longtemps, se cultiver ne fut pas considéré comme un loisir, tout au moins pour l'ensemble de la population. Cela demandait une disponibilité de temps et d'esprit dont peu d'hommes pouvaient disposer. Le développement des Maisons de la culture a commencé à modifier cet état de fait. Réservées au départ aux jeunes, c'est-à-dire à la couche de population disposant du maximum de temps de détente, elles ont cependant implanté la notion d'une culture accessible à tous.

Longtemps considérées comme des ghettos, inspirant davantage la méfiance que le respect, elles ont fini par s'ouvrir largement à toutes les couches sociales. C'est d'ailleurs elles qui sont à l'origine de la plupart des clubs du troisième âge. C'est ainsi que la première Maison de la culture ouverte à tous, le centre Beaubourg, comptait accueillir 5 000 visiteurs par jour. Plus d'un an après son ouverture, elle continue de recevoir 20 000 visiteurs quotidiennement. En dehors de la curiosité pure pour son architecture, ce qui attire surtout les visiteurs ce sont ses installations de vidéothèque.

Beaubourg n'est pas une exception. Les bibliothèques et les discothèques connaissent une fréquentation en progression constante. Les centres urbains ne sont pas les seuls à bénéficier de cet intérêt pour la culture, puisque les bibliobus qui se multiplient dans les campagnes connaissent un succès du même ordre.

## *Des mass media aux media personnalisés*

Le développement de la formation permanente marque de la même manière l'intérêt porté au développement intellectuel. Les stages de formation sont considérés avant tout comme des périodes de loisir, au grand dam de leurs animateurs. Sur ce point, la frontière entre le travail et la détente est encore très floue. Quel que soit l'intérêt professionnel que ses concepteurs veulent y voir, il faut considérer avant tout l'intérêt personnel que ses bénéficiaires y trouvent.



A. Dejean - Sygma


F. Darras - Fotogram

▲ *Première Maison de la culture ouverte à tous, le centre Beaubourg attire davantage les visiteurs par ses installations de vidéothèque que par son architecture propre.*

Cette recherche intellectuelle se manifeste même dans la science. 90 % des astronomes sont amateurs et apportent autant leur contribution aux découvertes que les professionnels. Les sociétés savantes du XIXe siècle ont laissé la place à des clubs de plus en plus nombreux, composés de membres amateurs, dans des domaines aussi techniques que l'astronautique. Le chercheur actuel est souvent quelqu'un qui pratique ses recherches sur son temps de loisir. Ses découvertes n'en sont pas moins importantes pour autant : elles risquent même de faire évoluer davantage la société, n'étant pas soumises au visa de la science officielle.

L'intérêt manifesté pour la chose intellectuelle touche même la télévision, considérée pourtant comme instrument de loisir purement passif. Ces dernières années, deux émissions connurent un excellent indice d'écoute, supérieur à celui de nombreux spectacles de variétés : « La caméra explore le temps » et les émissions médicales. Le succès actuel du jeu « Les chiffres et les lettres » est la preuve que le spectateur peut rechercher autre chose qu'un simple divertissement.

Le développement de ce que l'on a appelé l'ère de l'audio-visuel a pu faire croire que le consommateur de spectacles télévisés ou radiodiffusés allait se contenter de réagir d'une manière passive à ce qui lui était présenté. En réalité, il n'en est rien : un mouvement de refus (peut-être dû à la médiocrité ou au manque d'imagination des programmes) se dessine actuellement dans tous les pays développés.

Il existe en Italie plus de 1 500 stations de radio émettant sur les longueurs d'onde officielles. Le mouvement a gagné la France et tend à se développer, allant à l'encontre d'un monopole condamné tôt ou tard à disparaître. De même, si les gouvernements hésitent à autoriser le procédé de télédiffusion par câble, c'est qu'ils craignent d'assister à une évolution comparable.

Bien plus qu'une volonté de créer des stations concurrentielles vis-à-vis des compagnies autorisées, c'est un désir de s'exprimer qui se manifeste ainsi. Les murs ont eu la parole, il est normal que les écrans l'aient aussi. Au besoin de spectacle correspond un besoin au moins aussi important de communication, sans passer par les institutions officielles du loisir organisé.

L'apport essentiel de la science et des techniques en matière de loisirs ne réside pas dans la communication de masse. En se miniaturisant, en mettant l'électronique à la portée de tous, en simplifiant son utilisation, l'outil scientifique permet la communication de petits groupes entre eux, ramenant l'information et la récréation à une échelle plus humaine.

## *Vers un nouveau type de société*

Développement de la création personnelle, dans la fabrication de biens comme dans celle d'œuvres d'art, approfondissement intellectuel et communication de groupes humains réduits semblent être les trois axes vers lesquels se dirige notre société actuelle en matière de loisirs. Cela représente une vision plus optimiste de l'avenir que l'image du loisir-spectacle dont on a longtemps cru qu'il serait notre lot.

Une société de loisir allait de pair avec une société sans cesse plus productive. La crise économique comme les réalités écologiques ont transformé cette hypothèse. Ne pouvant produire davantage, nous ne pouvons plus espérer diminuer nos heures de travail. C'est donc vers une société d'utilisation du temps de loisir que nous avons le plus de chance d'aller. Les moments où nous pouvons nous consacrer à des activités de détente sont à gagner sur la durée des transports, sur la simplification des tâches ménagères et simplement sur une meilleure organisation de nos loisirs.

L'organisation du travail peut aussi largement contribuer à cette évolution. En 1974, les Anglais en firent l'expérience en découvrant qu'en réduisant la semaine de travail à trois jours au lieu de cinq, pour des raisons économiques, le rendement restait le même. Dans les deux cas (aménagement des loisirs ou organisation du travail), la science a son mot à dire.

Les techniques peuvent favoriser la création d'un nouveau type de société qui, si elle n'est pas aussi largement ouverte aux loisirs qu'on pouvait l'espérer, aura au moins le mérite de créer un nouvel art de vivre.


I.G.D.A. - Costa

▲ *Construction d'un pétrolier dans un chantier naval. Contrairement à l'industrie automobile, cette construction se fait sur projet spécial non répétitif.*

# TECHNIQUE ET SOCIÉTÉ

## *La technique et l'histoire humaine*

*S'il faut en donner une définition, on peut dire que la technique constitue l'« ensemble des activités de production et de transformation que l'homme exerce sur son milieu ».*

*P. Ducasse, dans son* Histoire des techniques, *note ainsi que « c'est avec l'homme que les techniques prennent leur développement complet, parce que l'homme est non pas un simple répétiteur des procédés industriels de la vie, mais un novateur, un prodigieux inventeur de mécanismes nouveaux, tout différents de ceux que la nature, par l'instinct, avait associés à la forme même du corps de l'animal, à son rythme ».*

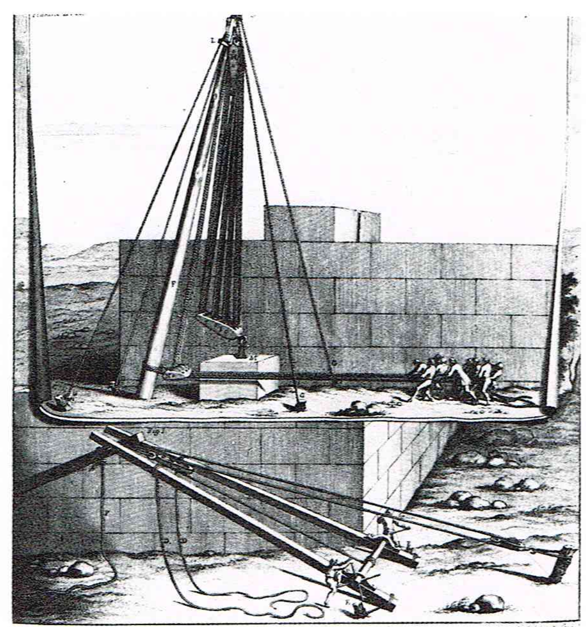
*En définitive, la technique est bien davantage qu'une simple reproduction des conditions matérielles de la vie : c'est l'élargissement de ces conditions.*

*L'*Encyclopédie Alpha des *Éditions Atlas présente, dans sa rubrique « Technique », une remarquable synthèse historique sur le rôle des techniques dans l'évolution des activités humaines. Nous lui emprunterons l'essentiel de ce paragraphe.*

Dès la Préhistoire, l'histoire des techniques prend une forme caractéristique : succession de véritables révolutions et non progrès constant où les découvertes s'ajouteraient aux découvertes, sans rupture. Les vestiges matériels ont amené à distinguer, par exemple, un âge de la pierre taillée et un âge de la pierre polie. Mais les deux étapes les plus importantes doivent sans doute être cherchées ailleurs. C'est la technique du feu et ensuite l'agriculture qui mettent fin au règne de la cueillette et de la chasse. Si l'on désigne par ce terme à la fois l'agriculture et l'élevage (qui paraissent indissociables dès le commencement), on peut penser avec Leroi-Gourhan *(Origine et Diffusion de la connaissance scientifique)* que l'introduction de l'agriculture représente « le fait le plus important », la révolution technique la plus bouleversante qu'ait connus l'humanité.

Cependant, malgré l'importance des réalisations égyptiennes, mésopotamiennes, indiennes et chinoises, c'est à l'époque classique de la civilisation grecque que l'on voit la technique prendre son orientation décisive. Là, en effet, elle commence à être liée aux sciences naissantes : mathématiques et mécanique. Pour la première fois, les instruments vont être conçus d'une manière rationnelle, déduits de connaissances scientifiques et non plus fabriqués de manière empirique par « essais et erreurs ». Ainsi, l'usage instinctif du levier remonte aux premiers âges de l'humanité, mais seul Archimède sut en donner la théorie physique, ce qui permettait, à partir d'un principe, de varier le champ des applications. De même, les Anciens surent utiliser la vis non seulement comme moyen d'assemblage, mais aussi comme instrument susceptible d'exercer de vigoureux efforts de pression ; ils découvrirent aussi que la vis engrenant sur une roue dentée (vis sans fin) permettait de transformer l'un dans l'autre des mouvements de rotation exécutés dans des plans différents. Ajoutons l'utilisation de la

▶ *Construction des fortifications de Syracuse à l'aide de palans et de leviers selon la théorie physique d'Archimède (gravure d'Edelinck, Bibliothèque Nationale).*



Collection Viollet

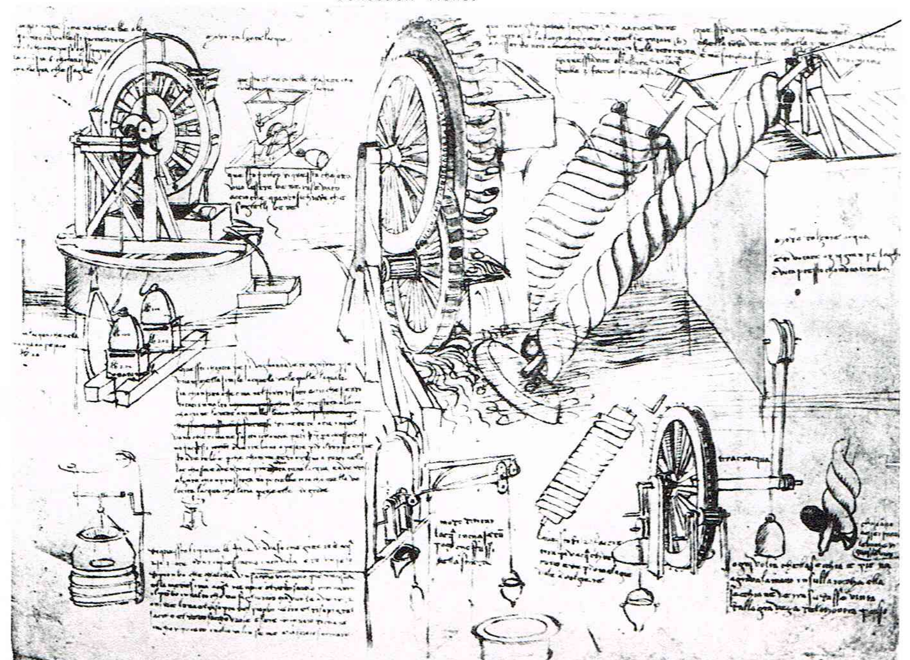
force motrice de l'eau, mais aussi de l'élasticité des gaz, ainsi que l'usage des transmissions mécaniques, et nous aurons une idée du développement technique de la Grèce.

Développement qui allait de pair avec une certaine dépréciation du travail manuel, abandonné aux esclaves. Ainsi devait être tarie la source de l'invention mécanique. Le monde romain n'ajoute pas grand chose aux découvertes grecques, et le début du Moyen Age européen marque plutôt une régression. Il faut attendre au moins le X$^{e}$ siècle pour assister à un nouveau départ des techniques. Insistons surtout, comme l'a fait Lefebvre des Noettes, sur la modification de l'attelage : on remplace l'ancien collier, qui gêne le cheval en comprimant sa gorge, par le collier d'épaules, qui permet de capter toute sa force motrice.

Ainsi ont été libérées bien des forces humaines susceptibles d'être alors utilisées dans les nouvelles industries qui se développent : mines, métallurgies, architecture, etc. La multiplication

▼ *Dessins de machines servant à l'utilisation de la force motrice et à la remontée mécanique des eaux, par Léonard de Vinci.*

Collection Viollet



des machines au XV$^{e}$ siècle, favorisée par le développement du capitalisme commercial mais aussi par l'apparition de nouveaux procédés métallurgiques (laminoirs, fonderies, tréfileries), donnera son assise technique à la Renaissance. Usher, par exemple, a montré l'importance du progrès technique dans l'imprimerie (1440-1445) et comment celui-ci donne les conditions du passage à la technique moderne.

Désormais, et alors même que les autres secteurs ne sont pas négligés, chaque siècle va voir le progrès révolutionner au moins une grande branche de la production. Au XVII$^{e}$ siècle, c'est l'introduction des manufactures. Au XVIII$^{e}$ siècle se développent, surtout à l'initiative de l'Angleterre, les machines à filer et à tisser, et aussi les « pompes à feu », qui utilisent la pression de la vapeur pour assécher les mines. Cependant, c'est le XIX$^{e}$ siècle qui mérite le nom de siècle de la vapeur, même s'il accomplit des progrès décisifs dans l'utilisation de l'énergie hydraulique, même s'il voit l'introduction de nouvelles sources d'énergies : électricité, moteur à explosion, etc. Quant au XX$^{e}$ siècle, plutôt que d'énumérer la suite de bouleversements qui le caractérisent jusqu'à l'âge de la cybernétique, il convient de remarquer la forme spécifique que les mutations y prennent. Elles semblent bien, en effet, affecter les conditions de travail au moins autant que les moyens de travail. Nous voulons ici parler de la « taylorisation » qui reste attachée non seulement au nom de F. W. Taylor, mais à celui de Ford : tandis que le premier tentait de réduire le temps passé à une tâche par chaque ouvrier, le second introduisait le travail à la chaîne.

De tels développements ne pouvaient aller sans une modification du statut même de la technique dans la civilisation. Dans l'Antiquité, les philosophes ou les mathématiciens eux-mêmes ont très souvent dédaigné la technique. Cette attitude se modifiera radicalement à la Renaissance. Comme le rappelle avec force G. Canguilhem *(Descartes et la technique)*, « après Léonard de Vinci et Bacon, et comme eux, Descartes relève le travail, la construction des machines — et l'accommodement par eux de la nature à l'humanité — du mépris dans lequel les avait tenus la pensée philosophique des Anciens ». Descartes ne rêvait-il pas d'une philosophie qui nous ferait « comme maîtres et possesseurs de la nature » ?

A sa suite, la pensée rationaliste va exalter la technique comme le moyen par lequel l'ordre humain peut s'inscrire dans le monde et triompher du désordre et de l'imprévisibilité. L'activité technique, qui ne cesse de s'accroître, sera l'objet d'une attention incessante.

D'une part, on s'intéresse au progrès technique pour lui-même, à son étendue, à son mode de développement. Diderot recense dans *l'Encyclopédie* toutes les techniques connues à son époque. Kant souligne la spécificité des techniques et montre comment elles ne peuvent être réduites à l'acquisition d'un savoir théorique. Anticipant souvent sur les résultats des sciences, semblant parfois former la condition de leurs progrès, les techniques ne peuvent en aucun cas être tenues pour de pures applications de leurs démonstrations. En effet, ainsi que l'indique G. Simondon *(Du mode d'existence des objets techniques)*, la science, conceptuelle, constitue un système de compatibilité entre les gestes techniques et les limites que le monde

impose; elle permet le dépassement de ces limites, elle ne fournit pas le modèle de toute expérience. Un exemple est resté célèbre, celui de la machine à vapeur : alors que la théorie des phénomènes que cette machine utilise ne devait être élaborée qu'au XIXe siècle, Denis Papin, dès 1698, la réalisait d'une manière satisfaisante. Mais il ne faut sans doute pas en rester à des exemples partiels. Si l'on prend le cas d'une science globale, comme la mécanique classique, on voit qu'elle trouve ses conditions de possibilité dans l'extraordinaire développement des machines à la Renaissance. B. Gille a ainsi montré *(les Ingénieurs de la Renaissance)* que ce sont les problèmes posés par le fondement des machines de guerre qui ont obligé à abandonner les conceptions dynamiques de l'Antiquité; mieux encore montre-t-il que la physique classique n'a pu se représenter le mouvement comme un phénomène unique que dans la mesure où la Renaissance avait produit des machines qui transformaient un mouvement droit en mouvement circulaire (système bielle-manivelle, par exemple). Dans cette perspective, le rapport entre technique et technologie (entendue comme discours bien fondé sur la technique) apparaît comme un rapport dialectique d'information réciproque.

*Par ailleurs, — et c'est surtout ce deuxième point qui nous intéresse ici — la technique, par l'importance qu'elle prend dans la vie sociale, par les transformations qu'elle introduit dans l'ordre vital, fait l'objet d'un autre type d'intérêt. Elle n'est pas seulement considérée en elle-même, d'un point de vue épistémologique, mais dans ses rapports avec l'ensemble des activités des hommes, d'un point de vue éthique, peut-on dire. Ou elle devient valeur en soi, orientant l'existence, promise à un avenir prestigieux; ou, au contraire, accusée de gigantisme, critiquée parce qu'elle dénature le monde et falsifie les rapports de l'homme avec celui-ci, elle fait l'objet d'une remise en question radicale. Entre le meilleur des mondes et le retour aux sources, entre une fiction angoissante et le regret stérile du passé, n'est-il pas possible de trouver un juste usage de la technique?*

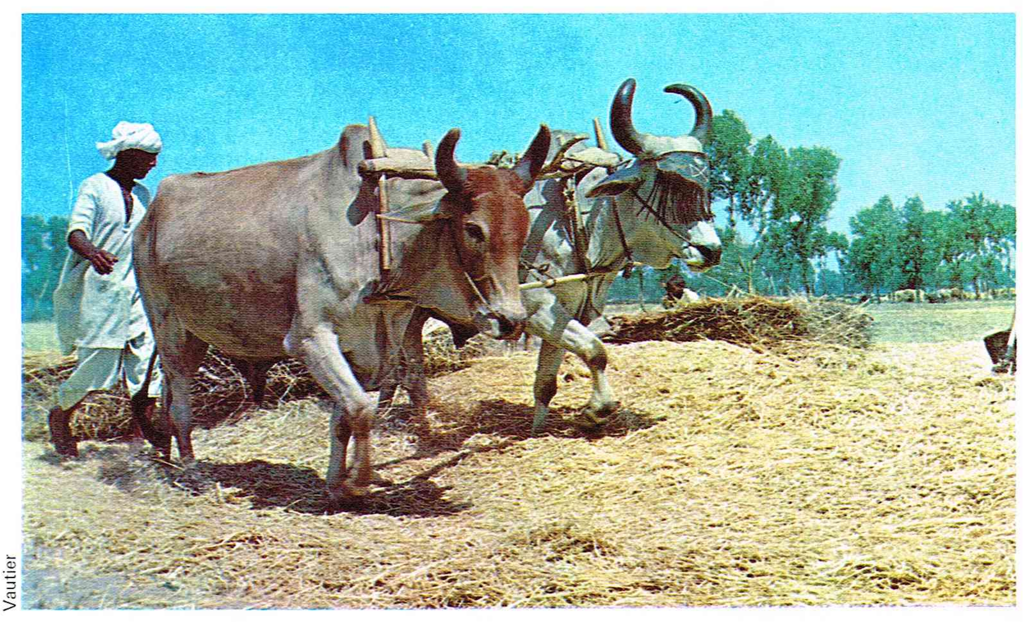
### *L'homme contemporain et la technique*

*Depuis la fin des années 1960, l'opinion publique commence effectivement à se préoccuper des effets « néfastes » de la technique. Alors qu'auparavant une large majorité de la population pensait que le progrès technique arriverait tôt ou tard à les supprimer, on est aujourd'hui de plus en plus conscient du fait que ce n'est pas « après coup » que l'on peut facilement pallier de tels effets. Il faut donc prévoir, dès la conception de nouveaux produits ou lors de l'élaboration de nouveaux processus technologiques, la mise en œuvre d'une méthodologie permettant de prévoir ces effets et éventuellement de prendre les mesures nécessaires pour qu'ils ne se produisent pas.*

*Dans l'introduction des présents volumes consacrés à la technologie, Guy Deniélou affirmait : « Plus qu'une technique, moins qu'une science : voilà une définition de la technologie qui ne fait, en l'occurrence, qu'enregistrer approximativement l'opinion courante, celle de l'homme de la rue. » Et il ajoutait : « Au rebours, l'université de Compiègne propose sa définition*



Vautier

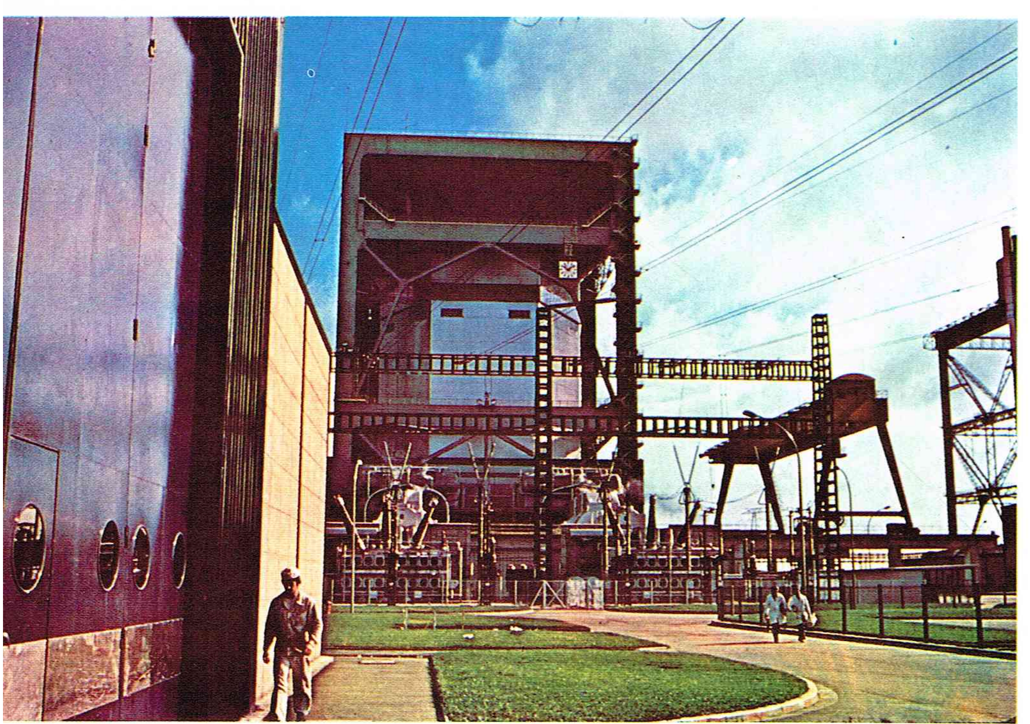


Vautier

***▲▼ Trois étapes de l'évolution technique encore vivantes :***
***en haut, des femmes boliviennes labourant à l'aide d'une araire, à 4 000 m d'altitude;***
***ci-dessus, un attelage de bœufs munis de colliers de garrot, au Bangla-Desh;***
***ci-dessous, une machine agricole tirée par un tracteur.***

EDENA - M.T.A.





M. Riboud - Magnum

▲ *Le développement en France de la production d'énergie d'origine nucléaire : la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux.*

*officielle de la technologie : c'est le nom de la science quand elle prend pour objet les produits ou les procédés de l'industrie humaine. »*

*Or un nombre croissant de citoyens estime que la technologie règne désormais en maître — sans partage — dans notre monde moderne, et même qu'elle en est devenue une drogue, au sens où celui-ci ne peut plus s'en passer, et en redemande toujours davantage. Ce phénomène apparaît à beaucoup comme d'autant plus regrettable et inquiétant que plus la technologie est sophistiquée, plus il devient difficile de la contrôler.*

*D'où viennent ces interrogations, cette remise en question de la technologie ?*

*Quelque bienfaisantes que soient certaines applications de la technologie pour diminuer la peine et la souffrance des hommes, le rythme accéléré auquel elles se développent et leur introduction dans une société humaine insuffisamment préparée à les recevoir ou trop lente à s'y adapter nous semblent aujourd'hui n'être pas sans danger.*

*Les récents et puissants moyens d'action de la technologie créent pour notre espèce un milieu nouveau entraînant des mutations sociales, économiques et spatiales incontestables. Le danger économique apparaît aujourd'hui à tous. Il résulte d'une ivresse technique et d'un développement trop rapide de l'industrie dans des conditions où le progrès technique, au lieu d'être mis au service de tous les hommes, vient souvent les concurrencer victorieusement.*

*Cette prise de conscience par l'homme de son aliénation face à certaines formes du progrès technique et son inquiétude quant à l'évolution de la technologie font que science et technologie, bases de la société et de l'activité humaine, sont aujourd'hui mises en cause. Le problème se pose donc de maîtriser les effets inattendus et non désirés que l'évolution de certaines techniques peut induire, et d'orienter la technologie dans des directions acceptables sans étouffer l'innovation.*

## La société, la technologie et l'État

Si l'on constate aujourd'hui une interdépendance croissante de la science et de la technologie, cela tient sans doute en partie à la nécessité d'une plus importante et plus efficace intervention de l'État en vue de résoudre un certain nombre de contradictions engendrées par un progrès technique trop rapide.

Cette interdépendance se retrouve par exemple dans le récent développement des « sciences opérationnelles », concept introduit par Marcuse puis repris et développé par Jürgen Habermas. Ces sciences « opérationnelles » se différencient de ce qu'on appelle souvent la « big science » ou la science au sens classique du terme par le fait qu'elles donnent naissance dans une période relativement courte à des techniques directement utilisables dans la pratique. Certaines de ces techniques sont des outils de planification ou de gestion créés spécialement pour gérer les contradictions du progrès technique ou, en d'autres termes, pour résoudre les problèmes auxquels l'État a réduit ces contradictions, afin de légitimer son intervention.

Cette forme d'intervention, parce qu'elle se distingue des formes autoritaires de la période pré-industrielle — légitimées par la religion ou d'autres concepts normatifs — et du « laissez-faire » de la période d'industrialisation — légitimé par l' « égalité théorique des chances » —, s'est développée pour éviter des conflits sociaux qui auraient pu naître des contradictions de la société technique. Cette nouvelle forme d'intervention, qui se fonde sur une « conscience technique » de la population, sera appelée ici l' « intervention rationnelle ».

## L' « Évaluation Sociale de la Technologie » : un nouveau mode d'intervention de l'État

En même temps que la technique devient ainsi un outil pour l' « intervention rationnelle », elle engendre aussi ses propres contradictions. D'une certaine manière, les risques créés par ces contradictions sont les plus dangereux, puisqu'ils concernent les outils mêmes de l' « intervention rationnelle ». C'est donc un objectif crucial pour l'État que de les éviter : il s'agit en quelque sorte du « cœur » du système social — en tout cas dans les pays industrialisés — puisque, malgré la « conscience technique », ne pas parer aux risques liés à des techniques majeures peut conduire à des situations explosives, voire à une révolte. Illustrons cette hypothèse par un exemple.

Une méthode rationnelle pour résoudre la crise de l'énergie (qui est bien sûr un problème important dû à une contradiction fondamentale du progrès technique) est de trouver de nouvelles sources d'énergie. Pour l'instant, la « meilleure » des sources possibles, c'est-à-dire la plus efficace compte tenu des contraintes politiques, économiques et techniques, semble être en France l'énergie nucléaire. Mais il y a des risques associés à l'utilisation de l'énergie nucléaire. Ne pas éviter — ou mal prévoir — ces risques menace directement la « conscience technique » ; si un accident majeur survenait dans une centrale nucléaire et entraînait un nombre élevé de victimes, la foi en la technique pour résoudre les problèmes de la société pourrait diminuer substantiellement et il deviendrait difficile de légitimer l'intervention de l'État par la science et la technologie. En conséquence, si de tels incidents se répétaient, la « conscience technique » pourrait s'effacer au profit d'une conscience de classe ravivée, qui elle-même pourrait conduire à renverser les forces qui détiennent actuellement le pouvoir en s'appuyant sur la rationalité légitimante de la technique.

La thèse exposée ici est que la méthodologie qui s'est développée aux États-Unis sous le nom de « Technology Assessment » (TA) et qui est actuellement introduite en France sous le nom d' « Évaluation Sociale de la Technologie » (EST), ou « Évaluation des options technologiques », ou encore « Évaluation technologique », a été développée aux États-Unis comme un nouvel outil technocratique permettant d'évaluer les « coûts » et les « bénéfices » sociaux, politiques, économiques et techniques des effets de la technologie afin de les réformer ou de les remplacer par d'autres techniques comportant

moins de risques. L'EST ne reconnaît pas les composantes idéologiques de la science et de la technologie et ne cherche pas à identifier les déterminants sociopolitiques du développement de nouvelles techniques. Elle ne remet pas en cause ce développement et tend à le considérer comme bénéfique en soi, quelles que soient ces techniques. Toutes les définitions qui ont été données de l'EST, aussi bien aux États-Unis qu'en France, confirment qu'il s'agit d'un outil créé pour éviter les risques inhérents à la technique elle-même, mais non pour analyser leur nature et déterminer leur origine.

Comme tend à le montrer une recherche en cours à l'Institut d'urbanisme de Paris, cette fonction première de l'EST pourrait avoir comme conséquence de constituer un instrument de planification des relations inter-industrielles correspondant à la nécessité historique, pour certains secteurs économiques, de gérer les incidences de technologies appartenant à d'autres secteurs sur les ressources nécessaires à la production (ressources en matière première, en fluides naturels, en énergie, en main-d'œuvre, en marchés, en crédits, etc.). Mais si cette hypothèse est vérifiée, elle n'en demeure pas moins une conséquence du rôle initial de l'EST, conséquence cependant inévitable dans un système où les limites de l'intervention de l'État se situent au niveau du respect des lois du marché.

## Introduction de l'EST aux États-Unis

La notion de « Technology Assessment » fut présentée à la Chambre des Représentants en mars 1967 par E. Daddario, rapporteur de la proposition de loi HR 6688 « visant à fournir une méthodologie permettant d'identifier, d'évaluer, de faire connaître au public et de gérer les implications et les effets de la recherche appliquée et de la technologie ». Cette loi, qui fut votée, créa l'Office of Technology Assessment (OTA) et l'Office of Technology Assessment Board (OTB), organe directeur de l'OTA, au sein du Congrès américain. Dans un discours prononcé au cours du 90e Congrès en 1968, Daddario donna une définition plus détaillée du concept et expliqua ses intentions concernant « la poursuite de cet axe d'enquêtes pour le pouvoir législatif » : « La possibilité pour la branche législative de notre gouvernement de réaliser l'Évaluation Sociale de la Technologie nous permettra de déployer des ressources bien définies en argent, en facilités et en main-d'œuvre qualifiée dans le domaine de la science et de la technologie afin de profiter au maximum des bénéfices offerts à la société. »

Daddario suppose clairement dans son discours que le TA devrait permettre de limiter les risques liés à la technique afin de maximiser ses effets bénéfiques. Il accepte la croissance technologique comme une donnée essentiellement « bonne » mais reconnaît qu'il faut lui associer des problèmes de « sécurité ». Ces problèmes, qui ne sont pas en général des conséquences directes de la technique mais plutôt des effets secondaires, doivent être résolus par le TA : il semble possible, si on les prévoit, de définir des moyens et des méthodes permettant de les éviter.

Dès lors, le thème central est de réformer la technique et d'éviter les risques qui l'accompagnent : le Technology Assessment est clairement une excroissance de la situation socio-politique — et non pas de notre expertise technique —, et il est très lié à des objectifs politiques.

Le TA (ou l'EST) peut être considéré comme étroitement lié à la planification (au sens américain du terme « planning »), voire même comme son prolongement. D'après Daddario, sa première fonction est de constituer un outil d'aide à la décision : « Le TA a été développé au sein du Congrès comme un outil permettant à ce dernier d'acquérir les moyens de définir une politique de la recherche appliquée et de la technologie, et de prendre suffisamment tôt les décisions sociales mettant en jeu des facteurs techniques. »

Quelle était la raison immédiate qui a poussé à introduire le TA à la fin des années 1960? Pourquoi cela n'a-t-il pas été fait plus tôt? Une réponse a été donnée par le Dr Vary Coates, de George Washington University : « Cela s'est produit à un moment où le public était de plus en plus inquiet des dangers qui résultaient pour sa vie et sa santé de la contamination de l'environnement par les sous-produits des processus chimiques et industriels. De plus, d'importants projets publics, tels que le développement des autoroutes et des aéroports, avaient occasionné un grand nombre de protestations, de manifestations et d'actions judiciaires leur causant des retards coûteux. Dans cette atmosphère, le concept de Technology Assessment gagna l'approbation à la fois des législateurs, des professionnels et des spécialistes universitaires de la politique de la recherche scientifique. »

Il fallait trouver une solution pour prévenir l'aggravation de ces mouvements et éviter ainsi qu'ils ne dégénèrent, solution qui ne pouvait émerger que de l'intérieur du cadre institutionnel. Le TA satisfaisait à cette contrainte : sa mission exploratoire et de prévention au sein de l'organisme de décision institutionnel — le Congrès — n'avait pas pour but le changement mais plutôt un rééquilibrage du pouvoir. Le TA ne menaçait pas la notion de « progrès scientifique et technique »; ayant ses racines officielles dans les milieux législatifs et académiques, il allait employer les méthodes fondamentales de l' « establishment » scientifique dérivant des valeurs essentielles du libéralisme américain : le processus du TA implique une analyse critique comme fondement d'une décision politique concernant le choix d'une technique. Mais cette critique, correspondant aux besoins du Congrès, avait sa place parmi les mécanismes institutionnels : elle était « utile » à la société et elle était « efficace ». Dans la plupart des cas, le TA tente de trouver les « meilleurs » moyens pour prévoir les effets secondaires d'une technique et trouve donc sa place au sein de ce qu'elle appelle le phénomène technique : « La recherche des meilleurs moyens dans tous les domaines. »

C'est donc désormais au Congrès, en tant qu'émanation suprême du peuple américain, qu'incombe le redoutable honneur de choisir les grandes options technologiques du pays. Le « congressman » qui doit se prononcer tous les jours sur telle innovation technologique a besoin d'informations concernant les effets de son éventuelle application; c'est précisément la tâche de l'OTA que d'aider le législateur dans sa prise de décision en analysant pour lui les différentes conséquences, directes ou indirectes, de l'utilisation de telle ou telle technologie. Afin d'être la plus objective possible, cette analyse que se veut être le « Technology Assessment » demande l'exploration des effets physiques, biologiques, économiques, sociaux et politiques que peuvent engendrer des applications du pouvoir scientifique.

Créé légalement par le « Technology Assessment Act » en 1972, l' « Office » n'a été opérationnel qu'à partir de janvier 1974; son activité n'a cessé de croître depuis, et comme rien ne limite *a priori* la nature des sujets d'étude, de nombreux « assessments » ont été entrepris à la requête du Congrès dans des domaines aussi divers que l'énergie, la nourriture, les océans, les transports, la santé, les communications, les ressources en matériaux, le commerce international.

Corps étranger, récemment introduit dans le bastion législatif, l'OTA demeure vivement critiqué; on lui reproche une croissance rapide, et une efficacité au-dessous de ses moyens potentiels; cependant aucun phénomène de rejet n'est encore apparu, car en tant que « boule de cristal » du Congrès, l'OTA semble « reconnu d'utilité publique ».

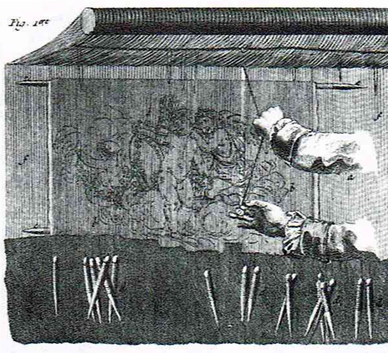
## Apport et limites de l'EST

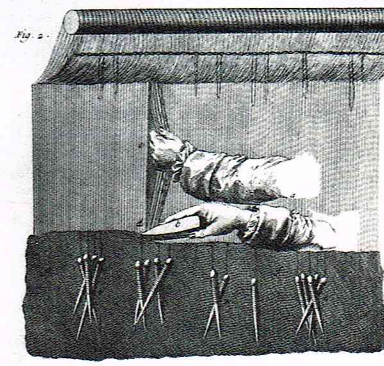
Si l'Évaluation Sociale de la Technologie est, selon Bereano, « une invention sociale qui facilitera le contrôle approprié des inventions physiques par la société », il est naturel de se demander comment elle procédera pour y parvenir et ce que l'on entend par « approprié ». En ce sens, l'EST rencontre les mêmes problèmes que la planification en général.

### Définition de l'intérêt public

Dans les deux cas, en effet, la formulation des objectifs est un élément majeur. « En termes sociaux, la formulation des objectifs dépend du concept d'*intérêt public* et ce concept a une composante normative qui lui est inhérente » (R. A. Carpentier).

Mais l'intérêt public est impossible à définir, malgré de nombreuses tentatives en ce sens. Des critères économiques d'optimalité tels que celui de Pareto ont été





Collection Viollet

▲ ***Tapisserie de haute lisse de la manufacture des Gobelins : tracé du dessin et service du peigne.***

▼ ***Gravure représentant une ancienne forge.***



Collection Viollet

proposés, mais tous sont apparus comme subjectifs et favorisant certaines fractions de la société. Ce conflit entre les objectifs publics et les intérêts particuliers a été illustré par un auteur américain, G. Hardin, dans *la Tragédie des communes*. Cet auteur en déduit la nécessité d'une intervention autoritaire pour régler le problème. Une telle solution, bien qu'elle semble être la seule possible, n'est pas compatible avec l' « intervention rationnelle » caractéristique de la société technique. C'est pourquoi l'un des thèmes qui revient le plus souvent dans l'Évaluation Sociale de la Technologie est celui de l'importance relative à accorder aux intérêts en présence. Il ne peut y avoir de solution purement « rationnelle » à ce problème : à un certain niveau dans le processus de décision, il faut inclure, de manière explicite ou non, un jugement de valeur irrationnel. Certains experts de l'Évaluation Sociale de la Technologie, par exemple Brooks et Bowers, ont reconnu cette contrainte : « L'affectation de coûts et de bénéfices à différents groupes est fondamentalement politique, et le but de l'EST est de clarifier les choix politiques plutôt que de fournir une réponse définitive. » Mais quels sont ces choix politiques et est-il possible de les clarifier sans les influencer? Est-il possible de décrire *tous* les choix politiques possibles associés au développement d'une technique donnée?

Si la réponse à la deuxième question est négative, — et c'est le cas le plus souvent — la décision de décrire certains choix politiques plutôt que d'autres est elle-même une décision politique. Mais qui est capable de reconnaître réellement ses propres jugements de valeur dans un tel processus de décision?

### EST et participation

Dans la tradition américaine du « libéralisme d'intérêts de groupe », l'Académie nationale des sciences (NAS) résoud le problème en soulignant que « bien entendu, la meilleure garantie d'objectivité peut bien être d'ouvrir le nouveau mécanisme au plus grand nombre possible d'influences contradictoires plutôt que de rejeter toute influence globalement ». Et la manière de réaliser cette condition est « de fournir des canaux bien définis à travers lesquels des groupes de citoyens, des associations privées ou leurs représentants puissent faire connaître leurs vues et, s'ils insistent, être entendus » (*fig.* 1).

Brooks et Bowers ont essayé de rendre la notion de participation à l'EST plus « démocratique » : « La difficulté ne réside plus dans la représentation des groupes qui perçoivent directement la mise en cause de leurs intérêts soit positivement soit négativement, mais en réalité elle provient du peu d'influence qu'ont dans le processus de décision les groupes pour qui les effets sont moins évidents ou plus éloignés dans le temps. »

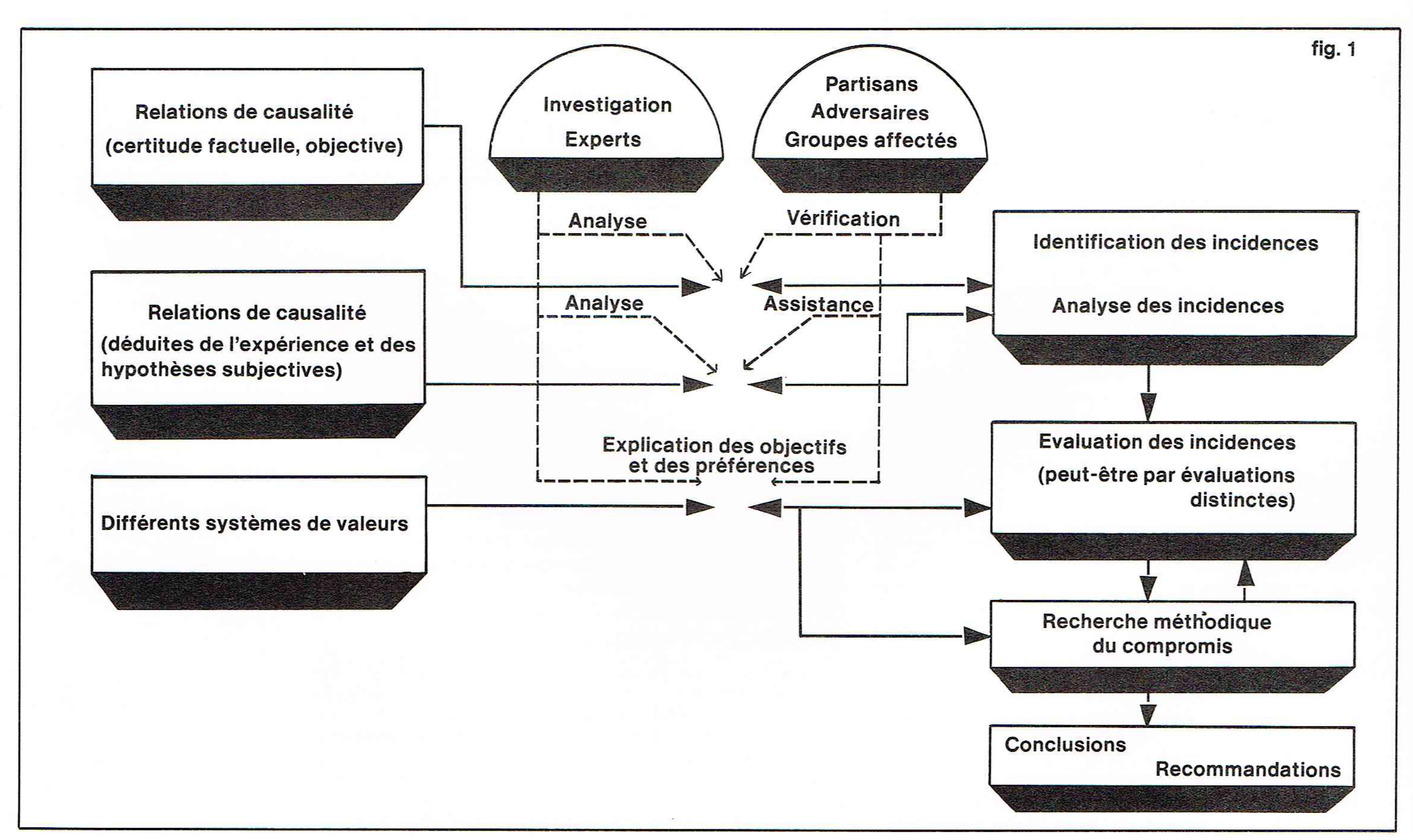
Il ne s'agit pas ici de condamner les défenseurs de ces propositions concernant l'EST : étant exposés aux conflits d'objectifs inhérents à toute évaluation de politique, ils essayent de les gérer de la manière qui, pour eux, semble la « meilleure », c'est-à-dire la plus « généreuse ». Mais ils ne voient pas que le public, le plus souvent, n'est pas prêt à participer sauf dans des cas très particuliers.

En fait, ce qui est nouveau dans l'EST par rapport aux autres techniques de limitation des risques telles que les études d'impact et la Rationalisation des Choix Budgétaires (RCB), c'est que l'on s'intéresse principalement à l'évaluation des effets sociaux. En cela, l'EST semble être une réponse à l'agitation sociale de la fin des années 1960 aux USA qui tentait de s'attaquer aux racines de la société américaine en prenant la science elle-même comme cible, principalement en raison de son rôle dans la guerre du Viet-Nam. Cela a eu pour résultat de modifier les priorités dans l'orientation de la politique de la science correspondant au déclin des objectifs militaires et spatiaux et au regain de l'importance des objectifs sociaux.

L'EST peut, en partie, être considérée comme une tentative de récupération des revendications sociales de cette crise. Elle permet d'éviter les conflits causés par la crainte d'une technologie perçue comme « mauvaise » voire « incontrôlée » (A. Staropoli).

C'est ainsi que le besoin de « participation », souvent mentionné dans l'EST, rejoint la notion humaniste d'une « démocratie participante » du « Port Huron Statement » en le faisant entrer dans le cadre des institutions libérales. L'EST prend en compte un certain nombre de facteurs, qui ne le sont pas habituellement dans un programme technologique. Elle constitue un pas vers le contrôle de la production et du développement de la technologie par l'État.

▼ *Figure 1 : schéma d'un processus d'Évaluation Sociale de la Technologie intégrant la participation des groupes concernés (d'après Eberhard K. Jochem dans* Principes méthodologiques pour l'Évaluation Sociale de la Technologie, *O.C.D.E., 1975).*



## *Apport méthodologique de l'EST*

En tant que processus de contrôle politique, l'EST nécessite la création d'une méthodologie pour la prévision, l'analyse et l'évaluation, bien que très souvent cette dernière étape soit laissée à la discrétion du lecteur. Ainsi, dans la pratique, l'EST ne peut être utilisée sans l'aide d'experts. Quelle est la différence entre ces experts et les experts traditionnels ?

Un certain nombre d'inventaires ont été faits des études d'EST. Certains d'entre eux constituent en fait de véritables « évaluations » de l'Évaluation Sociale de la Technologie. Ils montrent que, bien que l'EST ait apporté des méthodes d'analyse plus « méthodiques », plus « efficaces », ces méthodes n'en sont pas moins des outils existants utilisés depuis bien longtemps. Des outils d'aide à la décision tels que la Rationalisation des Choix Budgétaires (RCB), l'analyse de systèmes, la recherche opérationnelle, la méthode de Delphes, etc. peuvent tous être utilisés dans une EST. L'utilisation des ordinateurs a permis à ces outils de devenir extrêmement sophistiqués. Dans une EST, ces méthodes sont combinées et étendues parce que les problèmes soulevés avant que l'analyse puisse être faite sont plus complexes, comme le montre l'étude de la MITRE Corporation (Martin V. Jones : *Technology Assessment Methodology*, MITRE, 1971) :

« Parmi les diverses méthodes et techniques utiles à l'EST qui ont été recensées par Joe Coates — et d'autres —, on peut citer la méthode de Delphes, l'analyse d'impacts croisés, les arbres de pertinence (chaînes d'impact), les matrices de pertinence, l'extrapolation, l'analyse morphologique, l'analyse de systèmes, d'autres techniques de modélisation, de simulation, les scénarios et les jeux, les techniques d'enquêtes sociales, les techniques de participation et les processus contradictoires. »

Il est nécessaire (bien que discutable) de distinguer entre les EST dont le contenu ne s'étend pas au-delà de l'énumération de tous les effets de second et troisième ordres, et celles qui comprennent en plus une évaluation de ces effets.

La première catégorie est « plus neutre » en ce sens qu'elle ne fait pas clairement la différence entre les « bons » et les « mauvais » effets. Mais, surtout, son orientation correspond à un processus d'évaluation qui tend vers un travail d'experts en méthodologie de l'EST, à l'instar de certains processus de planification (transports urbains, par exemple), dans lesquels plusieurs alternatives sont présentées « objectivement » aux instances chargées de prendre les décisions. Comme pour d'autres techniques de planification, les évaluateurs « technologiques » essaient de paraître scientifiquement « sérieux » et « objectifs », et passent plus de temps à développer des techniques « bonnes » et « efficaces » pour améliorer la méthodologie de l'EST qu'à l'analyse proprement dite.

Les équipes qui ont tenté de conduire une EST du second type, c'est-à-dire incluant une évaluation des effets de la technique et la proposition de politiques appropriées relativement à la technique correspondante, se sont vite rendu compte de la rareté des outils disponibles pour un tel travail. Elles se sont trouvées directement confrontées au problème de la définition de l'« intérêt public » lorsqu'elles n'ont pas contourné ce problème en utilisant une forme d'analyse coûts-bénéfices, qui traduit de la manière la plus « technocratique » les externalités en coûts économiques et rationalise ainsi les effets sociaux en termes financiers. Si les valeurs sont explicitées — mais nous avons vu que c'est rarement le cas — et si les choix politiques sont énoncés clairement, cela diminue le plus souvent leur audience et leur force de persuasion, car le rapport de l'étude apparaît alors comme l'expression des idées particulières du groupe politique correspondant.

Les experts défendent leur point de vue en insistant sur le fait qu'en raison de l'impossibilité de changer le monde du jour au lendemain, il vaut mieux s'attacher à le réformer plutôt que d'attendre à ne rien faire : « Une plus grande tragédie consisterait à rester sur la touche en proclamant "que sera sera" et à ne rien faire. La descente aux enfers les yeux ouverts n'est peut-être pas confortable pour l'homme, mais elle est plus facile à défendre que celle d'un aveugle sur un tobbogan. » L'auteur de ces propos, Schooler, est un fervent défenseur de l'EST, en même temps qu'il se proclame ennemi résolu de la technocratie. Résumant les objectifs des groupes qui réalisent les EST, il ajoute : « Nous pouvons au moins espérer que nous anticiperons les effets non voulus, que nous évaluerons sérieusement les questions politiques et morales fondamentales qui seront soulevées et que nous poursuivrons des politiques fondées sur la prise en compte des "plus" et des "moins" de chaque alternative. »

Comme l'indique Staropoli : « Il est donc clair que l'EST ne menace ni l'idéologie dominante ni les objectifs politiques fondamentaux ». On peut ajouter que cette méthodologie ne remet pas en cause l'importance des groupes de pression dans la politique américaine et qu'en plus, elle a préservé, en tout cas aux États-Unis, le cadre institutionnel des études techniques tout en essayant de faire participer les associations de citoyens aux décisions politiques concernant la technologie. De fait, aux États-Unis, on a pu assister à une institutionalisation complète de l'EST. L'OTA (Office of Technology Assessment), sous l'égide de E. Daddario et de J. F. Coates, a été créé comme un outil pour le Congrès, avec un personnel important et un budget d'environ 4 millions de dollars.

L'EST est devenu un moyen de combler le décalage — « gap » — existant au sein du libéralisme d'intérêts de groupes américains : « Le libéralisme s'oppose à la planification et ne reconnaît que le marchandage ("bargaining") [T. Lowi]. » L'EST est clairement un remède politique au marchandage entre l'État fédéral et les intérêts de groupe, y compris les groupes de consommateurs. L'intérêt que le gouvernement américain a montré pour l'EST en l'institutionalisant et en allouant d'importantes sommes d'argent à des évaluations particulières montre clairement qu'il s'est rendu compte des avantages d'un tel remède.

Pour gérer de manière « rationnelle » les dysfonctions de la société technique, des « techniques intellectuelles » (terme introduit par Dutton et Starbuck) ont donc été mises au point. A leur tour, ces méthodes ont été de plus en plus critiquées et le rôle des experts remis en question. Cette tendance s'est cristallisée à la fin des années 1960 aux États-Unis, et l'EST a constitué un effort pour la récupérer ainsi que la notion de « société démocratique », en prenant en compte puis en gérant les effets sociaux de la technique. C'est ainsi que l'EST est devenue un nouvel outil pour l'« intervention rationnelle », en évaluant et en évitant les risques inhérents à la technique. Ce rôle est représenté de manière symbolique par l'importante catégorie des EST « orientées sur un problème » ainsi qu'il est mentionné dans un rapport de la National Academy for Engineering. En raison de la rapidité avec laquelle elle a été introduite — rapidité due à l'urgence des problèmes à résoudre —, l'EST ne possède pas toujours sa propre « science opérationnelle » à laquelle elle pourrait se référer. C'est ainsi qu'au cours de son développement, l'EST a repris à son compte des méthodes appartenant à des techniques existantes telles que l'analyse de systèmes ou la recherche opérationnelle, et les a adaptées à ses propres besoins. Cependant, en définitive, il s'est ainsi créé — *a posteriori* — une « science opérationnelle » propre à l'EST, ce qui semble vérifier l'hypothèse d'Habermas sur l'interdépendance des sciences et des techniques.



L. Freed - Magnum

▲ ***Manifestation de vétérans contre la guerre du Vietnam à Washington.***

## Mise en œuvre de l'EST

### Définition et nature de l'EST

De nombreuses confusions quant à l'interprétation de la notion d'« Évaluation Technologique » sont dues à des problèmes de définition ; il arrive souvent que l'on se méprenne sur ce qu'est vraiment l'Évaluation Technologique, que l'on définisse ses buts de bien des manières, enfin que l'on confonde l'Évaluation Technologique avec les études classiques de nouvelles applications techniques et les études de marché. Bien que, par certains points, ces analyses ressemblent à des Évaluations Technologiques, elles en diffèrent par nombre d'aspects importants ; ce qui les distingue, c'est que l'Évaluation Technologique précise dans quelle mesure l'innovation proposée est désirable vis-à-vis des besoins immédiats et qu'elle explore systématiquement ses conséquences à plus long terme.

A travers toutes les définitions qui ont pu être données de l'Évaluation Technologique, se dégage l'effort : d'appréciation du progrès technique, d'analyse systématique de systèmes socio-techniques, de recherche des incidences sociales, d'étude d'ensemble des avenirs technologiques et sociaux dans un processus d'analyse — prévision — évaluation des avenirs technologiques.

François Hetman dans un ouvrage publié par l'O.C.D.E. : *la Société et la Maîtrise de la technologie,* dégage les trois principaux domaines d'action de ce processus :

— l'observation et l'élimination des effets indirects négatifs des technologies existantes et la mise au point de nouvelles variantes socialement acceptables ;

— l'examen critique et le choix des nouvelles technologies découlant de résultats scientifiques déjà connus ou susceptibles d'être obtenus ;

— la nécessité d'une recherche originale pour la mise au point de nouvelles technologies désirables eu égard aux changements dans les fins collectives et aux priorités futures.

Il insiste sur le fait que l'Évaluation Technologique :

— porte sur l'avenir mais n'est pas une simple prévision, analyse les conséquences sociales du changement technologique ;

— devrait être faite avant d'appliquer une technique nouvelle, afin de mettre en valeur les avantages et les effets secondaires.

On peut noter qu'aux États-Unis, les Évaluations Technologiques ont presque toujours porté de manière rétrospective sur une technique déjà mise au point et dont les conséquences étaient tangibles ou prévisibles.

Par ailleurs, la collaboration entre « innovateurs » et « évaluateurs » est une condition nécessaire à la validité de l'acte d'Évaluation Technologique qui doit être pensé de façon interdisciplinaire et ne peut en aucun cas se trouver sous la responsabilité d'un groupe de planificateurs. Les équipes d'Évaluation Technologique doivent être déterminées par l'environnement social, économique, juridique et politique dans lequel elles opèrent, afin d'être capables de rechercher systématiquement les incidences de la technologie sur les aspects matériels, économiques, sociaux et politiques de l'existence.

Enfin J. F. Coates, intervenant comme expert auprès de l'O.C.D.E., a indiqué, par quelques considérations et propositions de caractère général, quelle était sa conception de l'EST. Nous la résumerons en trois points.

#### Définition et objectif de l'EST

L'Évaluation Sociale de la Technologie :

— peut être définie comme une étude systématique des incidences que peuvent avoir sur la société l'introduction, la diffusion et la modification d'une technologie et, en particulier, des effets inattendus, indirects et éloignés dans le temps ;

— est un instrument d'analyse politique ou un outil de prise de décision. On peut certes concevoir ses buts, ses techniques et ses méthodes comme fournissant des *inputs* (entrées) systématiques dans un processus plus large de décision politique et économique, mais le point essentiel demeure sa relation avec la prise de décision ;

— devrait couvrir la totalité des conséquences prévues et imprévues ; cependant, il est particulièrement important de mettre l'accent sur les effets dérivés, convergents, synergétiques et accidentels, éloignés dans le temps et accidentels, car, à long terme, ces conséquences peuvent devenir dominantes.

#### L'EST et la prise de décision

Les décisions sont prises de toute façon, mais les décisions fondées sur l'information sont généralement meilleures que celles qui ne le sont pas ou qui sont fondées sur une information insuffisante.

D'autre part, dans le passé, les décideurs politiques ont essayé de construire sur des certitudes. Or, dans le contexte contemporain, caractérisé par des technologies à développement et, souvent aussi, à rythme de changement rapides entraînant de multiples conséquences, les décisions politiques doivent être prises aussi bien à partir des certitudes que des incertitudes.

#### Nature de l'EST : un art

L'EST s'apparente à un art. Ce n'est ni une science, ni une discipline technique, ni une sous-division de la théorie économique, de la science politique ou du droit. Tout en puisant dans toutes ces disciplines, chaque évaluation doit correspondre à la logique intrinsèque de la technologie étudiée ainsi qu'au cadre de prise de décision dans lequel elle est réalisée. Pour une bonne part, les Évaluations de la Technologie sont des activités créatrices. Il ne faut donc pas y voir un effort pour trouver des formules, des modèles..., mais plutôt un art où l'unité côtoie la diversité et qui dépend du talent, de l'expérience et du perfectionnement continu des compétences. Cela vaut d'ailleurs aussi bien pour l'exécution que pour l'appréciation ultérieure de l'EST.

C'est pourquoi, il ne peut exister, pour les EST, de normes universelles relatives à l'ampleur, au détail, au caractère exhaustif de la méthodologie, à la mise à la portée du public, et enfin à l'objectivité et à la fiabilité.

## Classification des EST

En raison même de leur variété, il va de soi que l'on peut classer les EST selon des méthodes très différentes. Parmi celles-ci nous en choisirons deux qui nous semblent particulièrement éclairantes sur la diversité des classifications possibles.

#### Première méthode

Cette méthode, préconisée par F. Hetman dans l'ouvrage déjà cité, se présente sous forme d'une typologie faisant référence essentiellement aux différents cadres méthologiques utilisables pour mener une EST.

Cette typologie donne un aperçu des différentes formes d'EST envisageables, depuis l'Évaluation ne couvrant qu'un seul aspect jusqu'à l'Évaluation Sociale exhaustive d'une Technologie.

- **Comparaison de performances techniques :** elle consiste essentiellement à hiérarchiser divers schémas envisagés en matière de développement technologique. On examine et on compare entre eux les performances, les avantages, les inconvénients et les aspects discutables de chaque variante, en fonction de considérations presque exclusivement techniques.
- **Prévisions d'accompagnement :** ce sont des projections d'une réalisation technologique comportant en outre une évaluation de ses aspects positifs tels qu'on les voit compte tenu de l'état présent des règles de l'art dans le domaine technologique correspondant. Les prévisions d'accompagnement ne mettent pas en question le bien-fondé d'une réalisation technologique en cours ou envisagée.
- **Efficacité de l'investissement :** elle correspond pour l'essentiel à des études comparatives coût-efficacité ou coût-avantage qui retiennent les développements technologiques les plus prometteurs dans un domaine déterminé, en vue de mettre en évidence la variante la plus avantageuse. Les données techniques sont traduites en termes économiques et exprimées en unités monétaires.
- **Calcul du coût économique global :** c'est un complément aux études de marché, fondé sur l'analyse des échanges interindustriels de tous les produits et procédés, et qui identifie en outre les effets indirects du stade de fabrication que l'on quantifie sous forme d'éléments de coût entrant dans le prix de vente.

● **Tableaux des incidences sur l'environnement :** ce sont des évaluations particulières exigées par la législation américaine sur la politique de l'environnement, et dont le but est de s'assurer que l'agrément et les qualités de l'environnement jusqu'ici non quantifiables seront pris correctement en considération dans la décision au même titre que les facteurs économiques et techniques.

● **Évaluation techno-économique :** elle constitue une évaluation détaillée des innovations technologiques. Elle accorde beaucoup d'attention à l'examen des caractéristiques matérielles de ces innovations et à la prévision des options technologiques qui pourront être offertes. Les coûts et avantages sont confrontés sur la base d'éléments essentiellement techniques et économiques.

● **Calcul du coût et de l'avantage techno-social :** ce sont des études d'avantages comparatifs de plusieurs projets ou options techniques ayant une composante sociale très marquée. Les caractéristiques techniques et les coûts économiques globaux sont évalués dans un premier temps. Ensuite, on repère les zones d'incidences sociales, et l'on calcule les coûts et les avantages sociaux à partir d'une échelle d'appréciations qualitatives.

● **Analyse multidisciplinaire de certains aspects déterminés :** il s'agit d'une évaluation exhaustive des coûts et des avantages propres à un projet ou à une option technique dont les dimensions et les caractéristiques ont été clairement tracées. On soumet un projet bien individualisé à une analyse multidisciplinaire afin d'identifier et de prendre en compte tous les aspects sociaux que ne fait pas apparaître l'analyse coût-avantage des facteurs primaires d'ordre matériel et économique.

● **Évaluation multi-incidences :** recherche de grande ampleur sur les problèmes posés par un certain développement technologique, où l'on s'occupe de tous les aspects que l'on estime pertinents et de toutes les incidences que l'on est capable de discerner. C'est une analyse ouverte qui n'est pas axée sur un projet clairement défini ou sur des impératifs ou des contraintes préalables. Elle se concentre sur une investigation approfondie des possibilités et des conséquences d'un développement ou d'une option technologique.

● **Évaluation Technologique exhaustive :** elle correspond à l'Évaluation Technologique au sens plein du terme. Elle s'efforce d'englober tous les aspects qui méritent d'être retenus et toutes les catégories d'incidences sociales d'une innovation potentielle. C'est une exploration ouverte de toutes les possibilités que l'on peut discerner dans une technologie et une interprétation d'ensemble de ses implications et de ses conséquences eu égard à tous les secteurs et sous-systèmes sociaux concernés.

### *Deuxième méthode*

La deuxième classification est très différente. Son auteur, J. F. Coates, suggère l'utilisation d'une représentation matricielle permettant un croisement entre la nature de la technologie et le point de départ de l'évaluation (voir *tableau* I). Pour comprendre ce tableau, il convient de noter que le mot « technologie » y est pris dans une acception beaucoup plus large que précédemment, puisque l'auteur le définit comme étant « l'application de l'ingéniosité et des sciences de l'homme à la réalisation des objectifs humains ».

L'utilisation du concept de « technologie sociale » l'amène à faire plusieurs observations :

— les incidences indirectes d'une technologie sociale, telle que la poste, la conduite à droite ou la conscription générale, peuvent être importantes au second degré ;

— une grande partie du système de contrôle de notre société, sous la forme d'impôts, de lois, de prescriptions, etc., est l'incarnation de technologies sociales ;

— ces domaines n'ont guère été considérés jusqu'ici comme se prêtant à un effort méthodique d'invention. Ils souffrent donc d'une absence de recherche, d'analyse, d'évaluation et d'investigation systématiques ;

— le rôle des inventions sociales liées au contrôle social tendra à devenir relativement plus important dans une société de plus en plus ouverte et de plus en plus complexe.

**Tableau I**

**Exemple de classification des études d'Évaluation Sociale de la Technologie**

| Technologie | Point de départ de l'évaluation | | |
|---|---|---|---|
| | Problème | Technologie | Projet |
| Physique | Sources d'énergie | Énergie géothermique | Développement de ressources dans la vallée ABC |
| Biologique | Alcoolisme | Produits de lutte anti-alcoolique | Programme de lutte anti-alcoolique dans la ville XYZ |
| Sociale | Conduite en état d'ébriété | Moyens de traitement | Programme de traitement dans la ville M |

▲ ***Tableau I : exemple de classification des études d'EST (d'après J. F. Coates dans* Principes méthodologiques pour l'Évaluation Sociale de la Technologie, *O.C.D.E., 1975).***

En ce qui concerne les lignes du tableau, les évaluations ayant pour point de départ :

— la *technologie*, répondent à la question : quels sont les effets sur la société d'une technologie spécifique (vidéo-téléphone, télévision par câble, satellites artificiels, etc.) ?

— un *projet*, sont centrées sur une application spécifique d'une technologie donnée, telle que le pipe-line trans-Alaska, le canal Rhin-Rhône, la route trans-amazonienne ;

— un *problème*, sont orientées vers les problèmes de la société auxquels la technologie est censée apporter une solution. Il faut d'ailleurs noter que, jusqu'à présent, les études exhaustives ayant pris un problème comme point de départ sont encore relativement peu nombreuses par rapport aux deux autres catégories.

## *Domaines d'application de l'EST*

On conçoit intuitivement que le champ d'application de l'EST est quasiment illimité. Cependant il est bien évident qu'une Évaluation Technologique n'est en fait engagée qu'en référence avec les résultats que l'on attend d'elle, c'est-à-dire, en d'autres termes, avec son utilité.

F. Hetman suggère, dans son ouvrage *la Société et la Maîtrise de la technologie,* que l'EST est susceptible de remplir cinq fonctions.

M. Godfrey - Magnum



▼ ***Construction du pipe-line trans-Alaska.***

### *Surveillance des effets négatifs des technologies existantes*

Ce n'est pas seulement lors de la révolution industrielle que l'homme s'est mis à intervenir dans l'ordre naturel comme le rappelle A. C. Sjoerdsma :

« Le fait est que l'homme, depuis le commencement des temps, n'a cessé de se mêler de la nature. Le bon sauvage est un mythe. Depuis la préhistoire, l'homme a éprouvé l'hostilité de la nature, et c'était de sa part un désir naturel, et même un devoir moral, que de chercher à améliorer une condition qui, auparavant, paraissait être inévitable, mais s'est révélée ensuite capable de perfectionnements. Des limites intrinsèques aux connaissances et aux capacités de l'homme, il résulte qu'il court certains risques en cherchant à progresser et en s'efforçant d'appliquer les résultats de cette recherche. C'est cependant à ses avantages, et non à ses inconvénients que se mesure une découverte scientifique ou technique. Les virtualités positives doivent être exploitées, cependant que les virtualités négatives peuvent rester en friche. »

La première application de l'EST est donc, assez logiquement : « l'observation et la surveillance des effets indirects négatifs des technologies existantes. Dans la plupart des cas, l'enchaînement de ces effets se présente comme un processus de causalité par rétroaction qui opère de façon cumulative à moins que l'on agisse délibérément pour l'arrêter ou l'orienter différemment. Alors qu'à l'origine les causes des effets indirects paraissent revêtir un caractère essentiellement matériel, ils deviennent "négatifs" parce que certains groupes de la société s'aperçoivent qu'ils menacent leur intégrité : la destruction du milieu physique va souvent de pair avec celle du milieu social, bien que cette dernière puisse résulter d'effets induits découlant de technologies qui ne sont pas dangereuses pour le milieu physique. Quel que soit son point de départ, l'étude des effets indirects négatifs de la technologie conduit nécessairement à approfondir l'évaluation, lorsque l'objectif ne se limite pas à donner un coup d'arrêt temporaire mais consiste à améliorer la situation et à la changer profondément. »

A cet égard, l'EST doit aider en particulier à mieux connaître :

#### Les seuils de sensibilité de l'opinion

Lorsque l'on étudie les conséquences sociales d'une technologie, il faut être conscient que « les seuils de perception du public peuvent revêtir beaucoup plus d'importance que les seuils physiques, car tout en étant plus lents à se manifester, ils sont beaucoup plus prompts à susciter des réactions qui font boule de neige ». C'est pourquoi « les structures sociales et politiques doivent être traitées, non comme des paramètres, mais comme des variables susceptibles d'influer sur les évolutions technologiques par des actions irrégulières d'intensités diverses ».

#### Les interdépendances entre phénomènes technologiques et phénomènes sociaux

Le fait de rechercher une nouvelle forme de rationalité sociale, englobant l'étude simultanée et prospective de tous les aspects qui peuvent mériter d'être retenus, conduit à élargir immensément le champ des interdépendances entre phénomènes technologiques et phénomènes sociaux. Non seulement les divers secteurs de l'environnement humain sont liés entre eux mais, d'après William Kapp, « l'interaction des secteurs (ou systèmes de relations) socio-économiques, des secteurs physiques et des secteurs biologiques est beaucoup plus complexe et beaucoup moins explorée que le fonctionnement de n'importe lequel des divers systèmes que les disciplines universitaires traditionnelles ont isolés pour les étudier séparément en fonction de leurs objectifs particuliers ».

Par exemple, toujours selon le même auteur, « la qualité de notre environnement, comme en fait celle de notre société, constitue toujours une totalité; autrement dit, les effets réels sous forme de dommages causés à la santé et à la vie humaine et les désagréments effectivement ressentis du fait de telle atteinte à l'environnement sont toujours fonction des effets combinés de l'ensemble des sources d'agression ».

En définitive, l'interdépendance n'est pas seule à jouer, car il s'y ajoute des effets d'interaction et de renforcement (ou d'amortissement) réciproques, si bien que, comme le note F. Hetman, « les états de la société correspondant à une technologie donnée ne sont pas un simple agrégat, mais plutôt une intégrale, ce qui rend toute analyse particulièrement malaisée ».

#### Les incidences inattendues sur les groupes sociaux

Une EST doit, dans la plupart des cas, se dérouler sur la base de connaissances incomplètes car les lois d'intégration des phénomènes sociaux sont très largement inconnues. Il est donc souvent opportun d'entreprendre une étude préliminaire pour identifier tous les facteurs susceptibles d'éventuels effets indirects et d'en choisir, ensuite, un certain nombre pour les évaluer en détail.

### *Aide à l'amélioration de la qualité de l'environnement*

Les problèmes concernant la politique de l'environnement vont depuis des visions de catastrophe planétaire jusqu'aux inquiétudes causées par telle usine particulière et aux soucis vécus quotidiennement par les consommateurs.

C'est pourquoi l'Évaluation Technologique appliquée à l'environnement peut être envisagée à plusieurs niveaux :

— les éléments dont se compose l'environnement : eau, air, terre, utilisation des sols;

— les entités économiques : usine, branche d'industrie, économie régionale;

— les zones géographiques : au niveau local, régional, national;

— les groupes sociaux : producteurs, consommateurs, administrations.

D'autre part, parmi les méthodes à caractère général qui sont utilisées dans ce domaine, on peut citer :

— le choix des instruments d'optimisation;

— la confrontation par voie de matrice des causes de dégradation de l'environnement et des niveaux de qualité de l'environnement;

— l'élaboration de « schémas » de l'environnement;

— la démarche inspirée par une optique interventionniste;

— le système d'évaluation de l'environnement (*fig.* 2);

— la matrice d'évaluation des incidences écologiques.

F. Hetman fait très justement remarquer : « En un sens, l'Évaluation Technologique appliquée à l'environnement est l'inverse de l'évaluation d'une technologie naissante, car au lieu de partir de l'instrument technique et d'en explorer les répercussions indirectes, on part d'un inventaire des impacts et on remonte jusqu'aux causes d'ordre technologique pour repérer les processus qui provoquent des effets nocifs et passer ensuite aux actions correctrices. »

### *Recyclage des ressources*

Il est certain également que « l'Évaluation Technologique trouvera très largement à s'utiliser dans le domaine du recyclage, tant en ce qui concerne les résidus que la récupération des ressources non renouvelables, car ces aspects de la technologie ont été jusqu'ici négligés. L' "économie d'obsolescence" ou de "gaspillage", comme on l'appelle quelquefois, touche maintenant à sa fin, à mesure que l'homme devient de plus en plus conscient que les ressources non renouvelables ont des limites et peuvent rapidement s'épuiser, si on continue à les utiliser comme autrefois de manière extensive et rapace. Dans le cas des résidus, les études d'évaluation se centreront sur l'examen approfondi des déchets ou des polluants, de leurs circuits de diffusion, et des réservoirs ou dépotoirs dans lesquels ils s'accumulent. De son côté, la gestion des ressources naturelles réclamera un inventaire permanent et un réexamen scientifique des réserves, ainsi qu'une Évaluation Technologique continue qui servira de base aux changements dans les méthodes de production et à la mise au point de nouveaux procédés de recyclage ».

### *Tri des connaissances scientifiques et des résultats de la Recherche et Développement (R.-D.)*

L'exploration de nouvelles possibilités technologiques offertes par les connaissances que l'on possède déjà et par les résultats actuels des activités de R.-D. représente un important champ d'application de l'EST.

fig. 2

**Incidences sur l'environnement**

**Écologie** 240

**Espèces et populations**
Terrestres
(14) Herbivores
(14) Cultures Végétales
(14) Végétation naturelle
(14) Parasites
(14) Gibier à plume des montagnes
Aquatiques
(14) Pêcheries commerciales
(14) Végétation naturelle
(14) Parasites
(14) Poissons
(14) Gibier d'eau
140

**Habitats et communautés**
Terrestres
(12) Système bio-alimentaire
(12) Occupation des sols
(12) Espèces rares et menacées
(14) Diversité des espèces
Aquatiques
(12) Système bio-alimentaire
(12) Espèces rares et menacées
(12) Caractéristiques des cours d'eau
(14) Diversité des espèces
100

**Écosystèmes**
Purement descriptif

**Pollution de l'environnement** 402

**Pollution de l'eau**
(20) Pertes hydrologiques de bassin
(25) D.B.O.
(31) Oxygène dissous
(18) Bacilles coliformes d'origine fécale
(22) Carbone inorganique
(25) Azote inorganique
(28) Phosphate inorganique
(16) Pesticides
(18) Ph
(28) Variations de débit
(28) Température
(25) Matières solides dissoutes, total
(14) Substances toxiques
(20) Turbidité
318

**Pollution atmosphérique**
(5) Oxyde de carbone
(5) Hydrocarbures
(10) Oxydes d'azote
(12) Particules
(15) Oxydants photochimiques
(10) Oxydes de soufre
(5) Autres polluants
52

**Pollution du sol**
(14) Utilisation des sols
(14) Érosion des sols
28

**Pollution sonore**
(3) Bruit
4

**Esthétique** 153

**Terre**
(6) Couches géolog. de surface
(16) Relief et caractère topographique
(10) Dimensions & perspectives
32

**Atmosphère**
(3) Odeur et vue
(2) Sons
5

**Eau**
(10) Apparence de l'eau
(16) Interface terre-eau
(6) Odeur et matières flottantes
(10) Surface de l'eau
(10) Configuration des rives
52

**Biosphère**
(5) Animaux domestiques
(5) Animaux sauvages
(9) Diversité des types de végétation
(5) Variété au sein des types de végétation
24

**Objets créés par l'homme**
(10) Objets créés par l'homme
10

**Synthèse esthétique**
(15) Effet d'ensemble
(15) Caractère unique de la synthèse
30

**Intérêt pour l'homme** 205

**Ensembles à valeur pédagogique scientifique**
(13) Archéologie
(13) Écologie
(11) Géologie
(11) Hydrologie
48

**Ensembles à valeur historique**
(11) Architecture
(11) Événements
(11) Personnages
(11) Religions et cultures
(11) "Frontière de l'Ouest"
55

**Cultures**
(14) Indiens
(7) Autres groupes ethniques
(7) Groupes religieux
28

**Ambiance / atmosphère**
(11) Caractère majestueux
(11) Isolement solitude
(4) Mystère
(11) "Communion" avec la nature
37

**Modes de vie**
(13) Possibilités d'emploi
(13) Logement
(11) Rapports sociaux
37

*LÉGENDE :*
*( ) Unités d'importance d'un paramètre*
☐ Total

▲ ***Figure 2 : schéma d'un système d'évaluation de l'environnement (d'après* Environmental Evaluation System for Water Resource Planning Bureau of Reclamation, *Ministère américain de l'Intérieur. Laboratoires Battelle de Columbus, janvier 1972 ; dans* la Société et la Maîtrise de la Technologie, *O.C.D.E., Paris, 1973).***



R. Burri - Magnum

◀ ***Exemple de pollution atmosphérique d'origine industrielle.***

En effet, il est nécessaire d'examiner systématiquement les découvertes scientifiques recensées pour pouvoir choisir les technologies potentielles ayant un effet global socialement « bénéfique ». Cette procédure de dépistage vise d'ailleurs en même temps à empêcher que naissent de « mauvaises » technologies, car elle permet d'identifier des solutions qui peuvent se révéler nuisibles pour la société si elles se diffusent largement.

Selon F. Hetman, ce dépistage peut être envisagé comme un processus en trois stades :

— recherche des liaisons entre découverte scientifique et tendances technologiques ;

— recherche des liaisons entre tendances technologiques et répercussions sociales lointaines ;

— examen critique des choix techniques potentiels en s'aidant de toutes les catégories pertinentes de critères autres que purement économiques et techniques. C'est un exercice où il faut faire preuve d'une grande imagination pour tenir compte d'incertitudes particulièrement grandes et difficiles à réduire.

### *L'introduction de nouvelles technologies désirables*

Il convient désormais d'aborder de façon nouvelle les problèmes de la technologie et de la société. « Dans cette optique, la technologie n'est plus considérée

comme une "fatalité" ou comme une source primordiale de changement qui s'imposerait à l'humanité par une espèce de force immanente et mystérieuse » (F. Hetman). On l'apprécie alors en tant que facteur social que l'on peut orienter vers des fins désirables et, en conséquence, elle n'est plus une variable indépendante du modèle macro-social mais une variable dépendante dans le schéma d'ensemble de la société.

Cette concentration de l'attention sur les objectifs signifie que pour les centres de décision, le problème majeur consiste dorénavant à définir les finalités de la société. Cette étape apparaît comme absolument décisive afin de permettre un « regroupement logique des programmes socio-économiques et des besoins technologiques qui en découlent ».

## Établissement des priorités entre les sujets d'Évaluation

Quels sont les critères susceptibles de guider le choix parmi les nombreux sujets pouvant donner lieu à une Évaluation Technologique ? Il convient avant tout de ne pas oublier qu'une EST est très souvent orientée vers un objectif politique : les critères d'établissement des priorités doivent donc le cas échéant tenir compte de cette donnée essentielle.

J. F. Coates (dans *Principes méthodologiques de l'Évaluation Technologique*) suggère de prendre en compte dix-huit critères applicables, à des degrés divers, dans la plupart des cas.

Nous ne développerons ci-après que les principaux.

### Les possibilités de réalisation

Toutes les études potentiellement utiles ne sont pas nécessairement réalisables parce qu'elles dépassent soit nos possibilités, soit nos compétences actuelles. Le degré de possibilité de réalisation est donc très important. Il peut être nécessaire de procéder à une courte étude préliminaire pour déterminer la possibilité de réalisation.

### Le budget

Une étude multidisciplinaire exhaustive d'une technologie importante qui nécessite une large gamme d'*inputs* peut demander le concours de six à trente spécialistes pendant une période de temps allant de quelques semaines à deux ans. Par conséquent, le personnel et les fonds nécessaires doivent être examinés en les comparant avec les emplois de substitution. Comme indication empirique, on peut citer le coût moyen d'un spécialiste/année qui est de 45 000 dollars aux États-Unis. Cette somme comprend le salaire, le coût du personnel auxiliaire, les fournitures courantes, les frais généraux, etc. Il s'ensuit qu'il doit y avoir un rapport d'équilibre entre l'étude envisagée et le budget disponible.

### Les données

Il arrive souvent que les données nécessaires à l'étude ne sont pas disponibles ou ne le sont guère sous une forme directement utilisable. Ainsi, la mise au point de données originales ou la réorganisation des données disponibles peut constituer une tâche par trop difficile et empêcher la réalisation d'une étude réellement utile.

### La redondance

L'organisme qui lance l'étude d'évaluation devrait savoir si le sujet à l'étude a déjà été traité quelque part. Peut-on construire sur un certain acquis ? Comme on le verra plus loin, beaucoup de technologies dont l'évaluation a été recommandée par différents penseurs ont fait ou font l'objet d'une Évaluation Technologique. Il est important que le décideur en soit informé, non seulement pour préserver ses ressources, mais aussi pour éviter tout effet de surprise.

### La sensibilité politique

Il n'est guère possible de traiter, dans une institution ou un cadre institutionnel donné, tous les problèmes importants au même moment car les coûts politiques — du simple fait de soulever la question, sans parler du risque politique des suites possibles — peuvent être par trop élevés. Une refonte de la Constitution pourrait en être un exemple extrême mais particulièrement important. L'élimination ou la transformation d'un grand organisme gouvernemental présente un risque similaire. Mais il peut être tout à fait pertinent pour un organisme de procéder à une étude consacrée à son propre fonctionnement et à sa forme institutionnelle.

### La transférabilité des résultats

Ce peut être un critère utile, en particulier pour un organisme qui lance un programme d'EST. La mesure dans laquelle une évaluation est susceptible de renforcer, de clarifier et d'éclairer l'examen d'autres problèmes constitue en soi un apport positif. Même si elle ne va pas jusque-là, elle peut au moins constituer un facteur neutre. Ainsi, par exemple, la tentative d'évaluation des incidences d'horaires de travail différents peut éclairer les problèmes d'évaluation des incidences sur les différentes structures familiales ou sur les différents programmes d'enseignement.

### Qui est à l'écoute?

Lorsqu'il n'existe pas de structure organisationnelle ou de lieu de responsabilité bien définis, l'évaluation des incidences d'une technologie risque de rester sans effet pratique. S'il n'y a pas à l'écoute des résultats une institution dont les compétences s'étendent au sujet à l'étude, l'évaluation n'aura guère qu'une valeur éducative diffuse à long terme.

### L'étendue de l'étude

De toute évidence, un projet se chiffrant à des milliards de francs et dont la réalisation s'étend sur plusieurs années, tel que l'aménagement du Languedoc-Roussillon ou les grands programmes d'aménagement des rivières, etc., non seulement fournit une occasion de procéder à une évaluation, mais appelle virtuellement une évaluation en vue d'améliorer les plans. Dans le cas des projets importants, il est souvent difficile sinon impossible de faire des corrections après que le projet ait été achevé, tandis que cela peut être relativement facile au cours de la phase d'élaboration des plans.

### L'irrévocabilité

Dans beaucoup de cas, les projets ne sauraient être résiliés ou annulés. Il est improbable qu'on détruise un barrage, qu'on fasse sauter un réseau routier ou qu'on démolisse une cité nouvelle. Mais la révocabilité peut souvent constituer une option dans le domaine de la technologie sociale.

### Les incidences sur les possibilités futures

La question de savoir dans quelle mesure un projet donné obstrue les options politiques futures est étroitement liée au critère d'irrévocabilité. Le succès de la voiture automobile fondée sur le moteur à combustion interne a mis pratiquement fin à la mise au point d'autres moyens de transport fondés sur d'autres sources d'énergie dont le développement eût été utile. La réalisation d'un grand programme de travaux publics peut fermer la porte aux activités de loisir ou de plein air, compromettre l'exploration d'un site archéologique ou submerger un ensemble naturel ou historique comme le montre le cas du barrage d'Assouan. Les incidences sur les possibilités futures n'ont guère été prises en considération dans le passé, mais elles paraissent avoir une importance croissante pour la prise de décision future.

### Le coût de la mise au point et de la diffusion de la technologie

Toutes choses étant égales par ailleurs, plus le coût est élevé et plus grande devrait être l'attention accordée à la pertinence de la décision. Il y a malheureusement de nombreuses exceptions à ce principe, les technologies militaires, par exemple.

Tous ces critères ne s'appliquent pas avec la même force aux évaluations entreprises par différents groupes ou par différentes organisations. Dans certains cas, d'autres critères peuvent être pertinents. C'est ainsi que la National Science Foundation des États-Unis a récemment dégagé des fonds pour financer des Évaluations Sociales de la Technologie sur des sujets tels que la mise au point de sources d'énergie solaire, de sources d'énergie géothermique, d'opérations bancaires électroniques, l'élevage intégré de porcs, le passage des pesticides chimiques aux pesticides biologiques, l'adoption du

système métrique, l'adoption d'horaires de travail alternatifs. La Fondation — qui joue un rôle particulier dans le cadre institutionnel de la recherche à l'échelle fédérale — a non seulement pris en considération l'importance de la technologie, la possibilité de réalisation, la redondance par rapport aux activités en cours, l'opportunité temporelle et la pertinence par rapport au cycle de décision, mais également adopté deux autres critères explicites : l'exploration et la stimulation de l'application des méthodes et des procédés systématiques aux problèmes complexes relatifs à la décision politique, et la stimulation de l'accroissement de la capacité organisationnelle dans le domaine de l'Évaluation Sociale de la Technologie.

Les critères et le choix de l'évaluation peuvent être influencés par la situation de stabilité, par opposition à la phase de démarrage. Une bureaucratie importante du secteur public ou du secteur privé qui s'avise d'évaluer son propre fonctionnement devrait mettre l'accent sur la pertinence politique, la disponibilité des données, etc. ; elle pourrait aussi mettre l'accent sur la sécurité et ne pas risquer l'avenir de l'organisation à laquelle elle appartient en choisissant un sujet trop large ou trop important. Toutefois, elle ne devrait pas choisir un sujet relativement banal car, dans ce cas, personne dans l'organisation ne serait intéressé ou n'assumerait la responsabilité d'agir selon les résultats de l'évaluation.

## *Détermination de l'étendue de l'étude*

On s'attend tout naturellement à ce que les analystes d'une EST fassent une étude aussi approfondie et complète que possible. Cependant, en réalité, ils sont bien obligés de limiter leurs ambitions à cause d'un certain nombre de contraintes que le groupe consultatif de l'O.C.D.E. a classé de la manière suivante.

- **Limitations des ressources**
  - — coûts (y compris les coûts « invisibles ») ;
  - — moyens financiers (sources, disponibilité, souplesse) ;
  - — temps ;
  - — ressources humaines (talents, expérience, compétence des équipes d'évaluation).
- **Limitations des moyens de travail**
  - — insuffisances de la base de données ;
  - — problèmes d'organisation ;
  - — limitation de l'accès aux informations privées ;
  - — imprécision des méthodologies ;
  - — incertitudes (hypothèses sur les incidences, états futurs de la société, critères de l'évaluation).
- **Limitations intrinsèques**

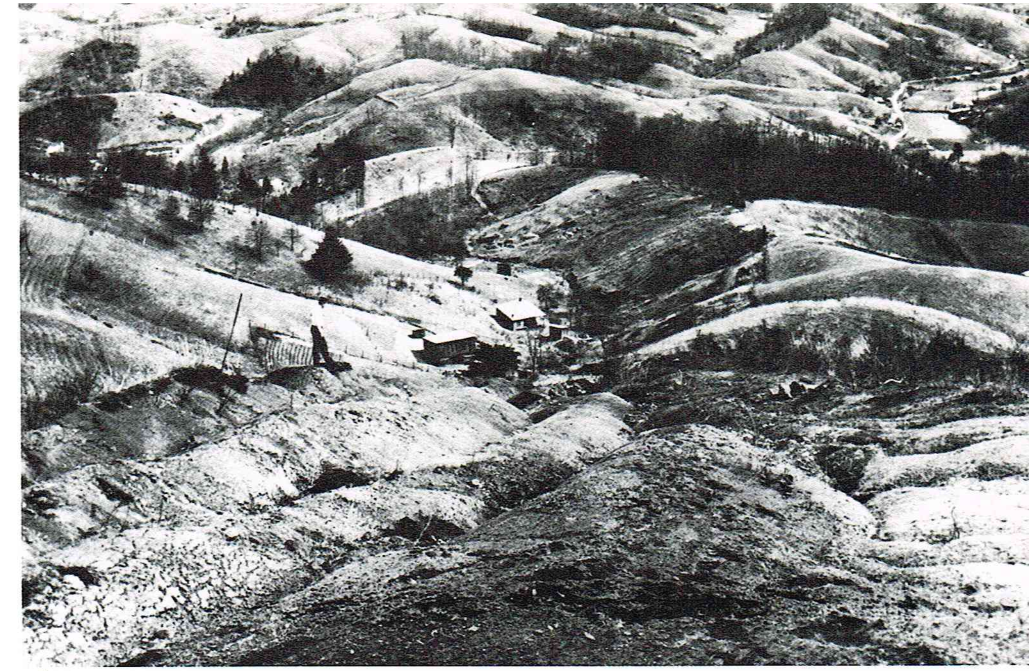
  Il est en effet difficile :
  - — de tenir compte de toutes les incidences essentielles ;
  - — de tenir compte en même temps des divers niveaux d'incidence ;
  - — de tenir compte de tous les groupes sociaux concernés ;
  - — d'obtenir un accord suffisamment étendu sur ce qui doit être considéré comme bon pour la société, en fonction de certains critères et valeurs implicites.

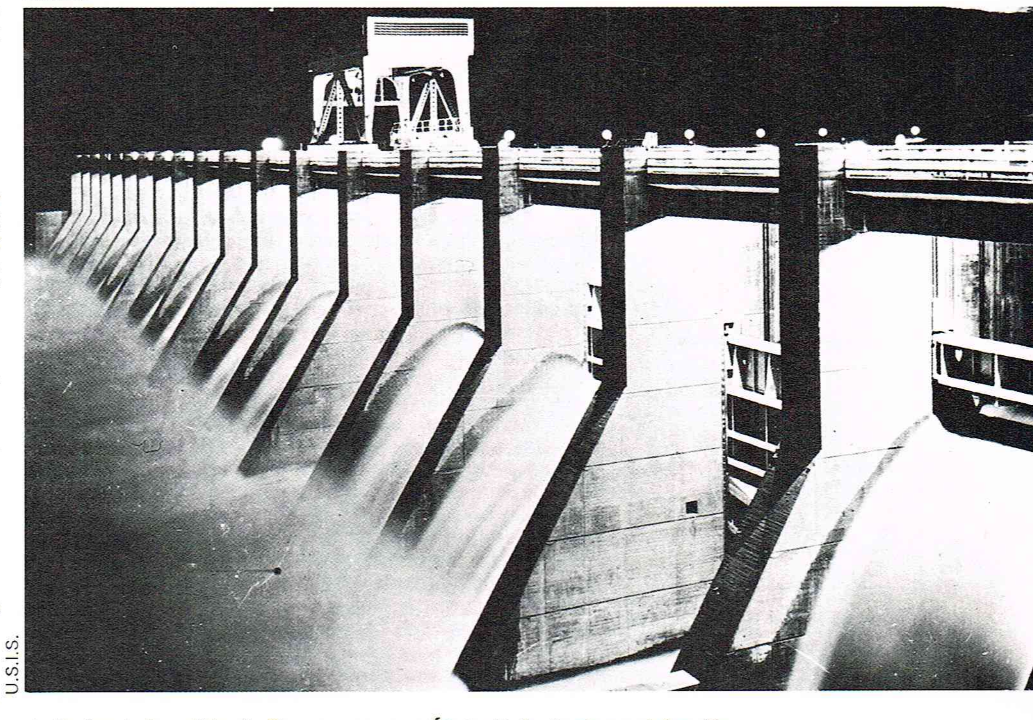
Il ne faut certes pas négliger — et encore moins ignorer — ces contraintes, mais il ne faut pas non plus sous-estimer les possibilités offertes aux analystes de déterminer l'étendue de leur étude d'une manière plus positive et plus constructive. Martin V. Jones suggère pour ce faire d'agir selon les principes suivants :

a) *Évaluer seulement un aspect d'un large domaine technologique.* Le plus sûr moyen de limiter l'étendue d'une EST est de limiter le domaine même de la technologie à l'étude. Ainsi, par exemple, une étude sur le traitement des eaux usées peut-elle se limiter à un seul procédé : le traitement biologique, ou/et à une seule catégorie d'eaux usées : les eaux industrielles.

b) *Réduire le nombre des sujets couverts,* par exemple en choisissant de ne pas examiner d'options ou de se limiter à un très petit nombre d'options.

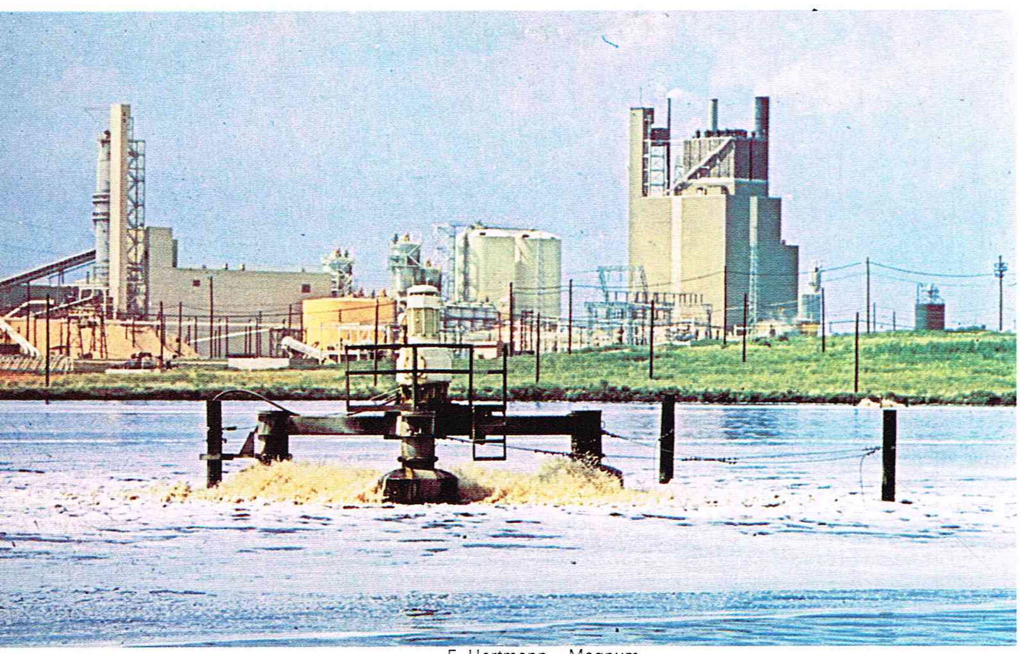
c) *Limiter le nombre des parties affectées,* par exemple les groupes sociaux ou les secteurs géographiques dont la situation est évaluée dans l'analyse des incidences. Ainsi l'utilisation de l'énergie nucléaire peut-elle être étudiée quant à ses effets sur la santé et la sécurité uniquement des personnes travaillant dans les centrales


U.S.I.S.


U.S.I.S.

*▲ En haut, la vallée du Tennessee, aux États-Unis, fortement érodée par le déboisement, nécessitait des travaux d'irrigation et de nouvelles méthodes de culture.*
*Ci-dessus, vue de nuit du barrage Chickamauga sur le Tennessee.*
*▼ L'une des deux pépinières qui ont permis la plantation de 267 millions d'arbres dans la vallée du Tennessee.*


U.S.I.S.



E. Hartmann - Magnum

▲ *Exemple de traitement des effluents liquides d'origine industrielle.*

de production ou aussi des employés des mines d'uranium, des habitants résidant près des usines...

d) *Réduire l'horizon temporel couvert par l'évaluation.* L'étendue d'une étude peut varier considérablement en fonction de l'horizon temporel que l'on veut couvrir. Il faut notamment décider si l'on entend effectuer une étude rétrospective — qui est essentiellement un constat *a posteriori* — donc relativement simple, ou bien une étude prospective, ou encore une étude s'efforçant d'explorer à fond aussi bien les incidences passées que les incidences futures.

e) *Réduire les catégories d'incidences étudiées.* Ainsi une étude étroitement focalisée sur les effets de l'automation peut-elle analyser soit les incidences à caractère économique (impact sur le niveau de l'emploi, les investissements, etc.), soit les incidences sociales (conditions de travail, horaires, etc.), soit les incidences industrielles (organisation de la production, etc.).

f) *Limiter le nombre des « niveaux » d'incidence.* Par exemple en ne prenant en considération que les incidences directes (de niveau 1) et en laissant de côté les incidences du second et du troisième degrés. Ce problème est important car beaucoup d'innovations technologiques ont une influence qui se répercute à travers plusieurs niveaux d'interactions.

g) *Déterminer la précision des réponses recherchées.* Une étude peut être réalisée bien plus vite si elle se limite à la recherche de réponses qualitatives plutôt que de réponses quantitatives; mais elle risque alors d'être moins utile (moins d'informations) et même de fournir une information erronée. Cependant, sans doute vaut-il mieux encore avoir une réponse approximative à une question très pertinente qu'une réponse précise à une question de peu d'intérêt. En ce qui concerne le choix d'une méthode de mesure, on se reportera au *tableau* II.

▼ *Protection du personnel travaillant dans la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux.*

M. Riboud - Magnum



## *Cadre méthodologique de l'EST*

De nombreuses recherches et expériences méthodologiques sur l'EST ont été menées depuis une dizaine d'années dans la plupart des pays industriels occidentaux par des organismes tels que : administrations, universités, bureaux d'étude, etc.

La meilleure synthèse sur l'ensemble de ces efforts intellectuels nous semble être celle présentée par F. Hetman, de l'O.C.D.E., dans son ouvrage déjà cité. Nous lui emprunterons l'essentiel des éléments de cette partie.

### *Les points d'amorçage des études d'évaluation*

La direction et l'organisation de la technologie sont des opérations très complexes. Cela explique d'ailleurs la très grande diversité des définitions que l'on a pu donner de l'Évaluation Technologique.

Du point de vue méthodologique, il est donc important de classer les efforts d'évaluation par rapport aux points du système auxquels on les amorce. Cet essai de taxonomie conduit à retenir essentiellement les points d'amorçage suivants :
— technologie,
— économie,
— société,
— individu,
— environnement,
— valeurs et contenu social des décisions,

dont on trouvera au *tableau* III une analyse de contenu plus détaillée.

En outre, chacun des points d'amorçage doit être défini par référence à un niveau possible ou désirable d'étude, d'analyse ou d'action :
— international,
— national,
— groupe social,
— branche d'industrie,
— spécialisation professionnelle ou scientifique.

L'expérience suggère également de tenir compte des observations suivantes :

★ Les premières questions que l'on se pose sont souvent relatives à des considérations technologiques. Or une analyse partant d'une technologie particulière risque fort de négliger certains « effets de systèmes » que l'on ne peut guère rattacher à une technique spécifique. Il paraît donc plus opportun d'explorer des faisceaux de technologies.

★ Il semble que les voies d'approche prenant comme point d'amorçage la société ou l'individu conviennent bien à la recherche des interactions entre facteurs et effets. Cependant ce type d'approche présente deux risques :

— surestimer l'élément non technique et négliger des innovations possibles ou des technologies de rechange qui pourraient atténuer les inconvénients sociaux d'une technologie donnée;

— ne pas déboucher sur des évaluations convaincantes tant que l'on ne comprendra pas mieux les systèmes sociaux, les comportements humains et les liens que les uns et les autres entretiennent avec le progrès technique.

★ Le point d'amorçage, quel qu'il soit, doit être considéré comme un premier élément qui enclenche un examen plus détaillé d'autres aspects. Cela signifie qu'une évaluation complète doit s'appuyer sur une méthode qui prenne en compte toutes les dimensions importantes dans le cadre d'un système dynamique, quitte ensuite à les pondérer d'après leur portée par rapport au thème principal de l'évaluation. En définitive on a donc intérêt à élaborer pour chaque EST une matrice générale comprenant les voies d'approche possibles (lignes) et les niveaux d'analyse appropriés (colonnes).

Enfin, l'analyse des points d'amorçage possibles apporte également quelques indications quant à la construction d'un cadre méthodologique. F. Hetman distingue ainsi quatre types de cadres d'analyse.

★ Le mode d'approche **épistémologique** (axé sur la technologie) qui procède à une dissection logique

## Tableau III

### Bases conceptuelles des Évaluations Technologiques

**I. Technologie**

*a*) Capacité fonctionnelle
*b*) Système d'innovations interdépendantes
*c*) Processus d'amélioration d'une technologie
*d*) Transfert de technologie
*e*) Modalités juridiques et sociales d'introduction d'une technologie
*f*) Importance et ampleur de la diffusion
*g*) Contraintes et normes juridiques

**II. Économie**

*a*) Forces génératrices de progrès technologiques
*b*) Structure économique
*c*) Taille et répartition des entreprises
*d*) Degré de concurrence

**III. Société**

*a*) Sous-systèmes sociaux
*b*) Ventilation des ressources
*c*) Relations sociales

**IV. Individu**

*a*) Santé et espérance de vie
*b*) Situation professionnelle et position sociale
*c*) Instruction et culture
*d*) Qualité de vie
*e*) Qualité de l'insertion dans la société

**V. Environnement**

*a*) Ressources de l'environnement
*b*) Écosystèmes
*c*) Effets de la pollution sur la santé de l'homme
*d*) Environnements créés par l'homme

**VI. Valeurs et aspects collectifs de la décision**

*a*) Visibilité
*b*) Intérêts liés aux technologies existantes
*c*) Protagonistes et adversaires
*d*) Tierces parties affectées par la décision
*e*) Responsabilité de l'État

## Tableau II

### Les échelles de mesure

| Échelle | Conditions de mesure | Principale caractéristique | Exemple | Mesures statistiques | Propriétés numériques |
|---|---|---|---|---|---|
| Nominale | Élaborer un ensemble de noms distincts pour chaque individu | Le plus faible niveau de mesure. Identifier (ou définir) des caractéristiques différenciables pour les individus | Numéro assigné à chaque joueur d'une équipe de football | Fréquence ; mode (coefficient de corrélation) | Identité : ou $A = B$ ou $A \neq B$<br>Si $A = B$, $B = A$<br>Si $A = B$, et $B = C$, $A = C$ |
| Ordinale | Comparer chaque individu selon un attribut commun et un seul | Premier niveau d'effort pour identifier (ou définir) un ordre de préférence | Ordre simple un individu dans chaque classe (Président des USA, Vice-Président des USA). Ordre faible : plus d'un individu dans chaque classe (étudiants de 1re année, 2e année, 3e année, etc.) | Fréquence, mode, médiane, centiles, rang, coefficients de corrélation | Identité et ordre :<br>Si $A > B$, $B < A$<br>Si $A > B$ et $B > C$, $A > C$ |
| D'intervalles | Définir une unité de mesure appropriée - Origine arbitraire | Les intervalles entre les points de l'échelle sont ordonnés. Un ensemble ordonné se compose de nombres réels | Échelle de température centigrade (Celsius) et Fahrenheit | Toutes les mesures ordinales plus l'écart-type, l'asymétrie, la covariance | Outre identité et ordre : en prenant une origine arbitraire, une différence peut être traitée comme une valeur absolue, et l'on peut supposer que les différences ont la propriété d'additivité |
| De rapport | Établir que l'échelle de mesure est étalonnée par rapport à une origine absolue ou « naturelle » | Le rapport d'une mesure à une autre reste le même quand l'échelle est transformée | Origine absolue : échelle de température Kelvin. Origine « normale » : calendrier grégorien | Toutes les mesures d'intervalle plus la variance | Identité, ordre, plus additivité :<br>Si $A = P$ et $B > O$, $A + B > P$<br>$A + B = B + A$<br>Si $A = P$ et $B = Q$, $A + B = P + Q$<br>$(A + B) + C = A + (B + C)$ |

d'un objet technique de manière à établir la cohérence de toutes ses manifestations, et se conclut par la validation socio-technique d'une technologie.

★ Le mode d'approche **problématique** (axé sur un problème à résoudre) est suscité par un problème immédiat né des effets négatifs induits par une technologie. Il repose sur une acception élargie de l'offre et de la demande de ressources qui prend en compte les coûts et les avantages repérables.

★ Le mode d'approche **institutionnel** (axé sur les groupes d'intérêts) dont le point de départ est une institution ou un groupe affecté; son objectif est de parvenir à comprendre comment science et technologie entrent en interaction avec la société et avec ses organes de contrôle social.

★ Le mode d'approche **téléologique** (axé sur les objectifs) qui s'appuie sur l'idée d'un processus qui se déroule de manière « systémique » en englobant à la fois les diverses caractéristiques d'une technologie et ses conséquences principales appréciées en fonction d'un objectif technologique donné.

Pour compléter les instructions données dans ce paragraphe, on se reportera au *tableau* IV.

***Cadre méthodologique général d'une EST***

De nombreuses études ont été menées depuis une dizaine d'années afin d'esquisser un cadre méthodologique d'ensemble pour les EST.

Nous nous intéresserons plus particulièrement à la démarche méthodologique mise au point par la MITRE Corporation pour le compte de l'Office of Science and Technology des États-Unis à laquelle on se réfère en général.

★ **Démarche suivie par le ministère japonais du Commerce international et de l'Industrie**

Cette démarche (*fig.* 3) semble particulièrement convenir à une politique active d'introduction de nouvelles technologies dans le cadre du développement industriel du Japon. Elle s'apparente à une version élargie de l'analyse coût-avantage, et restreint donc l'Évaluation Technologique au travail d'analyse proprement dit. Ce point apparaît clairement lorsqu'on la compare aux démarches américaines présentées ci-après où l'on veille à prendre en compte les options, la faisabilité d'un éventail de solutions et les appuis politiques pouvant aider à la mise en œuvre d'une innovation technologique.

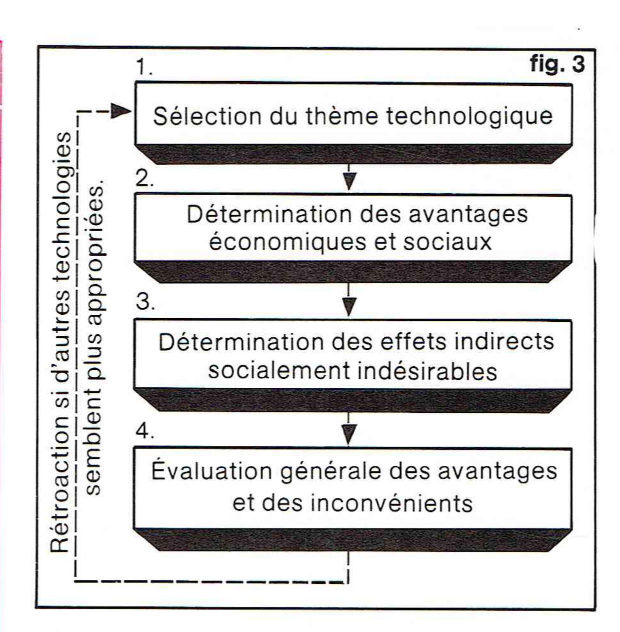
▲ ***A gauche, tableau III : les bases conceptuelles des Évaluations Technologiques (d'après F. Hetman dans* la Société et la Maîtrise de la technologie, *O.C.D.E., Paris, 1973). A droite, tableau II : les échelles de mesure [d'après Marvin J. Cetron et Donald N. Diek, reproduit dans* la Société et la Maîtrise de la technologie, *O.C.D.E. 1973 (F. Hetman)].***

| Tableau IV<br>Les modes d'approche fondamentaux de l'avenir | | | |
|---|---|---|---|
| **Mode d'approche de l'avenir** | **Démarche logique** | **Hypothèses sous-jacentes ou explicites** | **Principaux ensembles de méthodes** |
| Prédiction | Subjective | Non spécifiées non explicitées | Formulation visionnaire<br>Analogie intuitive |
| Prévision | Probabilité | Situation contextuelle constante | Extrapolation<br>Corrélation<br>Régression multiple<br>Modèles statiques |
| Projection | Conditionnelle | Impact socio-économique constant | Corrélation<br>Modèles mathématiques<br>Analyse de sensibilité<br>Simulation |
| Recherche prospective | Exploratoire, imaginative | Objectifs constants ou donnés | Opinions d'experts<br>Groupes de créativité<br>Modèles de simulation<br>Modèles exploratoires |
| Planification centralisée | Normative ou autoritaire | Système socio-économique unique et constant | Modèles statistiques<br>Modèles mathématiques<br>Modèles itératifs |
| Programmation par objectifs | Décisionnelle | Variantes déterminées par le système | Analyse de systèmes<br>Modèles de décision<br>Simulation<br>Analyse d'interactions |

▲ *Tableau IV : les modes d'approche fondamentaux de l'avenir (d'après F. Hetman,* **la Société et la Maîtrise de la technologie,** *O.C.D.E., 1973).*

★ **Études expérimentales de la National Academy of Engineering**

Ces travaux sont intéressants car ils décrivent le processus d'Évaluation Technologique suivi au cours de trois expériences effectuées par des groupes d'études où siégeaient non seulement des spécialistes de l'évaluation mais surtout des spécialistes exerçant des responsabilités professionnelles dans le domaine considéré.




On peut estimer que le choix d'un optimum ou d'une ligne d'action n'est pas une tâche appropriée pour un groupe d'Évaluation Technologique et que de plus cette fonction doit rester la prérogative du décideur. Il n'en demeure pas moins que celui-ci attend des analystes qu'ils lui fournissent des éléments à partir desquels il pourra exercer son jugement.

★ **Études pilotes de la MITRE Corporation**

Ces travaux ont été effectués sous la direction de Gabor Strasser sur contrat de l'Office of Science and Technology selon un schéma méthodologique analogue au précédent mais plus élaboré, détaillé et perfectionné sur les plans conceptuel et empirique.

Ils ont conduit à des Évaluations Technologiques portant sur les gaz d'échappement des automobiles, les réseaux de communication par ordinateurs, les enzymes, la culture des océans et la pollution des eaux par les déchets ménagers.

Selon G. Strasser, la voie d'approche qui a été suivie du point de vue méthodologique combine deux démarches :

— la première consiste à analyser et à évoluer un problème réel précis, et aide à voir les choses de manière concrète et opératoire. Par exemple : mesures à prendre dans le cas du DTT, des gaz d'échappement, etc.;

— la deuxième consiste à élargir les capacités des méthodologies existantes pour y englober l'Évaluation Technologique au sens général du terme. Par exemple : mise au point de techniques d'estimation des coûts plus complètes, définition des « interfaces » entre planifications à long et à court terme, etc.

La synthèse de ces cinq études a permis de distinguer et d'expliciter sept phases qui, d'après les auteurs, recouvrent tout l'éventail de l'exercice d'Évaluation Technologique (*fig.* 4).

On peut enfin représenter la démarche méthodologique de la MITRE Corporation d'une autre manière (*fig.* 5) et mettre ainsi en valeur les deux grandes parties du processus d'évaluation :

— la première partie (« contexte de l'Évaluation Technologique ») montre, d'une part, comment divers facteurs, qu'ils soient liés à la technologie (A) ou non (B), s'influencent réciproquement pour engendrer « les problèmes et les chances de la société » (D) et, d'autre part, identifie les mécanismes sociaux (C) grâce auxquels les conclusions d'une EST sont examinées et éventuellement mises en application;

— la seconde partie (« éléments de l'Évaluation Technologique ») relie les capacités analytiques (E) utilisées dans une évaluation aux résultats (G) obtenus grâce à elle au cours de l'analyse (F).

### *Méthodes d'analyse pour une EST exhaustive*

Pour établir un bilan social complet de la technologie, on peut faire appel à plusieurs méthodes afin :

— d'observer et d'inventorier les dimensions, incidences et conséquences intéressant la collectivité;

— d'expliciter les interdépendances éventuelles entre ces divers éléments.

A la fin de cette partie consacrée aux aspects méthodologiques de l'EST, il nous paraît utile de citer la liste de ces méthodes, telle qu'elle a été établie par F. Hetman dans son ouvrage mentionné plus haut, ainsi que la description qu'il donne de chacune d'elles.

● **Le recensement des conséquences sociales** est un examen des relations fonctionnelles entre la technologie et divers aspects de la société. Ces relations peuvent être interprétées comme des réactions sociales à un développement technologique donné. Ces réponses sont interdépendantes dans l'espace et dans le temps, de sorte qu'il semble possible de distinguer plusieurs catégories d'effets — effets au premier degré, au second degré et au-delà. Ce genre de technique peut donner une vue d'ensemble des domaines et des ramifications possibles des conséquences sociales, mais elle ne met pas en évidence la logique interne du processus.

● **La méthode de Delphes** utilise en parallèle des groupes d'experts pour élaborer un tableau d'événements futurs et estimer la date à laquelle ils pourraient survenir. Elle repose sur des techniques non formalisées de collecte et de synthèse des jugements, intuitions et conjectures émanant de personnes qui sont censées disposer d'une information pertinente sur les multiples aspects de la société. On a élargi le champ de cette méthode pour y faire entrer une énumération systématique des principales conséquences attendues, un avis sur leur caractère désirable ou non, et des propositions quant aux moyens d'intervention souhaitables.

● **L'arbre de pertinence** représente une combinaison de la théorie des graphes et de l'analyse morphologique. On peut s'en servir dans les études d'Évaluation Technologique pour repérer des filières d'activités articulant procédés de fabrication et activités connexes, les besoins en main-d'œuvre qualifiée, les besoins de R.-D. et certaines incidences sociales, directes ou indirectes. Le problème principal de la technique de l'arbre de pertinence concerne la façon dont on dégage l'intensité des diverses ramifications et dont on arrive à relier les arcs et les nœuds stratégiques (*fig.* 6).

● **L'évaluation et l'interprétation d'événements** constituent une technique qui s'efforce d'explorer les liaisons entre événements et objectifs dans un domaine technologique donné. C'est une combinaison d'éléments divers appartenant à plusieurs techniques existantes, telles que :
— prévision intuitive ;
— extrapolation de tendances ;
— analyse de corrélation de tendances ;
— démarche normative mettant particulièrement l'accent sur la méthode de Delphes. On peut utilement l'appliquer au cas de nouvelles technologies qui devraient se plier à un objectif social discernable.

● **La matrice de pertinence** consiste à traiter de manière explicite les interactions entre événements technologiques et conséquences sociales sous la forme d'une matrice. Les interactions entre technologie et société sont considérées comme des influences nettement déterminées de manière unilatérale, résultant d'un développement technologique donné. Elles sont généralement présentées comme des relations stables, ce qui n'est guère le cas dans la réalité.

● **L'analyse des interactions** (des incidences croisées) est une technique utilisée pour apprécier la probabilité de voir se produire tel ou tel événement futur en fonction de changements dans la probabilité de certaines évolutions attendues. Elle permet de choisir non seulement des événements futurs à caractère technologique, mais également des phénomènes d'environnement ou des phénomènes sociaux et politiques. L'inconvénient est que l'analyse d'incidences multiples exige une quantité énorme d'informations.

● **L'étude multidisciplinaire d'un système,** processus organisé en sept étapes, est spécialement conçue pour des études d'Évaluation Technologique. Elle commence par la définition d'un développement technologique et l'analyse de l'état présent des « règles de l'art ». Elle s'attache ensuite à repérer et à évaluer les zones d'impact et les aspects de la société qui peuvent être affectés par l'application de la technologie examinée. La comparaison des avantages et des inconvénients débouche sur des options envisageables pour l'action. Les aspects sociaux sont considérés à la fois comme objets et sources d'influence, obéissant pour l'essentiel à l'impulsion de la technologie.

● **La fonction d'évaluation technologique,** démarche axée sur un problème, loin d'être un enchaînement purement mécanique, comporte une interaction continuelle entre les divers stades opérationnels — lancement, identification des technologies, définition des tâches d'évaluation, choix des données, utilisation de règles de décision, détermination des actions à mener, évaluation, adaptation. Il y a sans cesse interdépendance entre tous ces stades, mais deux d'entre eux sont particulièrement cruciaux, à savoir le choix des informations et les règles de décision.

● **Les méthodologies finalisées** sont établies sous forme de modèles téléologiques où l'on part de la définition d'un état de choses souhaitable ou d'un faisceau d'objectifs. La phase suivante consiste à élaborer les données que l'on transformera en trois catégories d'indicateurs : technologiques, économiques et socio-politiques. Ces indicateurs sont articulés entre eux à l'aide de matrices d'appui mutuel, et l'on pondère les résultats en fonction de divers horizons temporels. Les résultats sont traités ensuite dans des matrices où l'on fait varier la pondération des incidences, afin d'obtenir une information sur la « valeur » globale de l'innovation technologique envisagée.

Contrairement aux démarches axées sur une technologie ou sur un problème, où le choix des objectifs reste ouvert, les modèles finalisés supposent l'ouverture des choix technologiques mais traitent les objectifs comme une contrainte. Les difficultés liées à la prévision, à l'explication des incidences et à l'évaluation sont transférées de la partie proprement technologique aux aspects concernant les objectifs et les décisions.

◀ *Page ci-contre, à droite, figure 3 : démarche méthodologique pour l'EST du ministère japonais du Commerce international et de l'Industrie (d'après F. Hetman,* **la Société et la Maîtrise de la technologie,** *O.C.D.E., 1973).*

▼ *Figure 4 : démarche méthodologique mise au point par l'Office of Science and Technology et la MITRE Corporation (d'après F. Hetman,* **la Société et la Maîtrise de la technologie,** *O.C.D.E., 1973).*

fig. 4

**Phase 1** — **DÉFINIR LE TRAVAIL D'ÉVALUATION :**
Étudier les questions-clés et les principaux problèmes
Délimiter le champ (extension et profondeur) de l'étude
Mettre au point les règles essentielles à suivre dans le projet.

**Phase 2** — **DÉCRIRE LES TECHNOLOGIES CONCERNÉES PAR L'ÉTUDE :**
Décrire la technologie principale que l'on évalue
Décrire les autres technologies qui en sont les auxiliaires
Décrire les technologies rivales de la première et des secondes

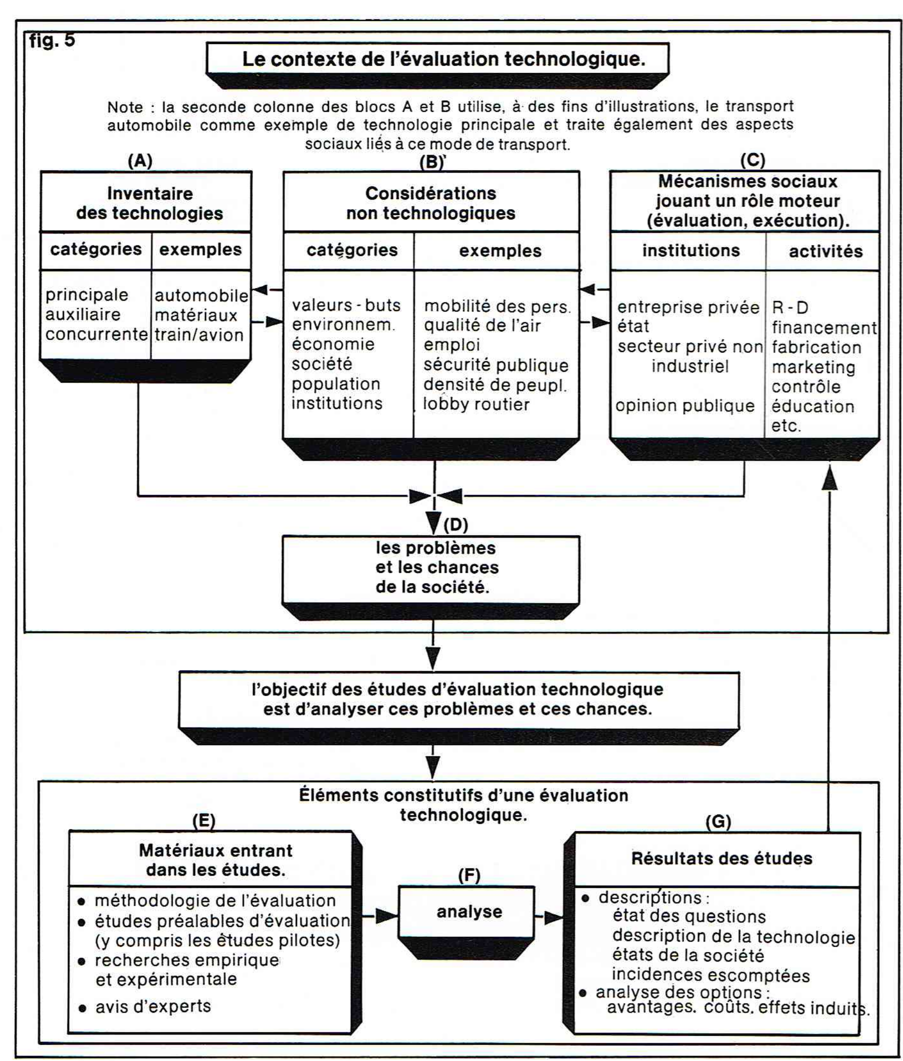
**Phase 3** — **FORMULER DES HYPOTHÈSES SUR L'ÉTAT DE LA SOCIÉTÉ :**
Identifier et décrire les principaux facteurs non technologiques qui influent sur l'application des technologies étudiées

**Phase 4** — **IDENTIFIER LES ZONES D'INCIDENCE :**
Déterminer les caractéristiques de la société qui seront le plus influencées par l'application de la technologie en cours d'évaluation

**Phase 5** — **PROCÉDER A UNE PREMIÈRE ANALYSE DES INCIDENCES :**
Reconstituer l'ensemble du processus par lequel la technologie à évaluer fait sentir ses effets sur la société

**Phase 6** — **IDENTIFIER LES OPTIONS POSSIBLES POUR LES ACTIONS A MENER :**
Définir et analyser divers programmes visant à obtenir l'avantage collectif maximum de la technologie examinée

**Phase 7** — **ACHEVER L'ANALYSE DES INCIDENCES :**
Analyser dans quelle mesure chaque option changerait les incidences sociales de la technologie à évaluer, telles qu'elles ont été dégagées à la Phase 5




▲ *Figure 5 ; schéma montrant la décomposition de la démarche méthodologique de la MITRE Corporation en deux grandes parties : le contexte et les éléments constitutifs d'une Évaluation Technologique [d'après A Technology Assessment Methodology, dans* **la Société et la Maîtrise de la technologie,** *O.C.D.E., 1973 (F. Hetman)].*

## L'EST et l'industrie

### Introduction

De nombreux chefs d'entreprise américains ont apporté leur témoignage quant à l'utilisation qu'ils font de l'Évaluation Technologique afin de mieux comprendre l'environnement technologique futur. Le dernier volume de *Hearings before the Technology Assessment Board of the Office of Technology Assessment (ninety-fourth Congress of the USA),* qui résume et analyse les témoignages présentés lors de la deuxième session du 94e congrès des États-Unis, met en valeur les découvertes importantes et les opinions divergentes des divers participants. Nous rapportons ici, le point de vue de D. F. Miller, chef de projet à l'OTA.

« Le "Technology Assessment" est une stratégie d'étude en évolution qui est maintenant adoptée à la fois dans le secteur public et le secteur privé.

— La stratégie de tout TA doit être faite sur mesure pour s'adapter aux ressources, au temps disponible et aux besoins des responsables des décisions.

— De plus, pour étudier les choix et les possibilités, le TA peut donner un avertissement précoce ou établir des conséquences qui n'auraient pas été prévues.

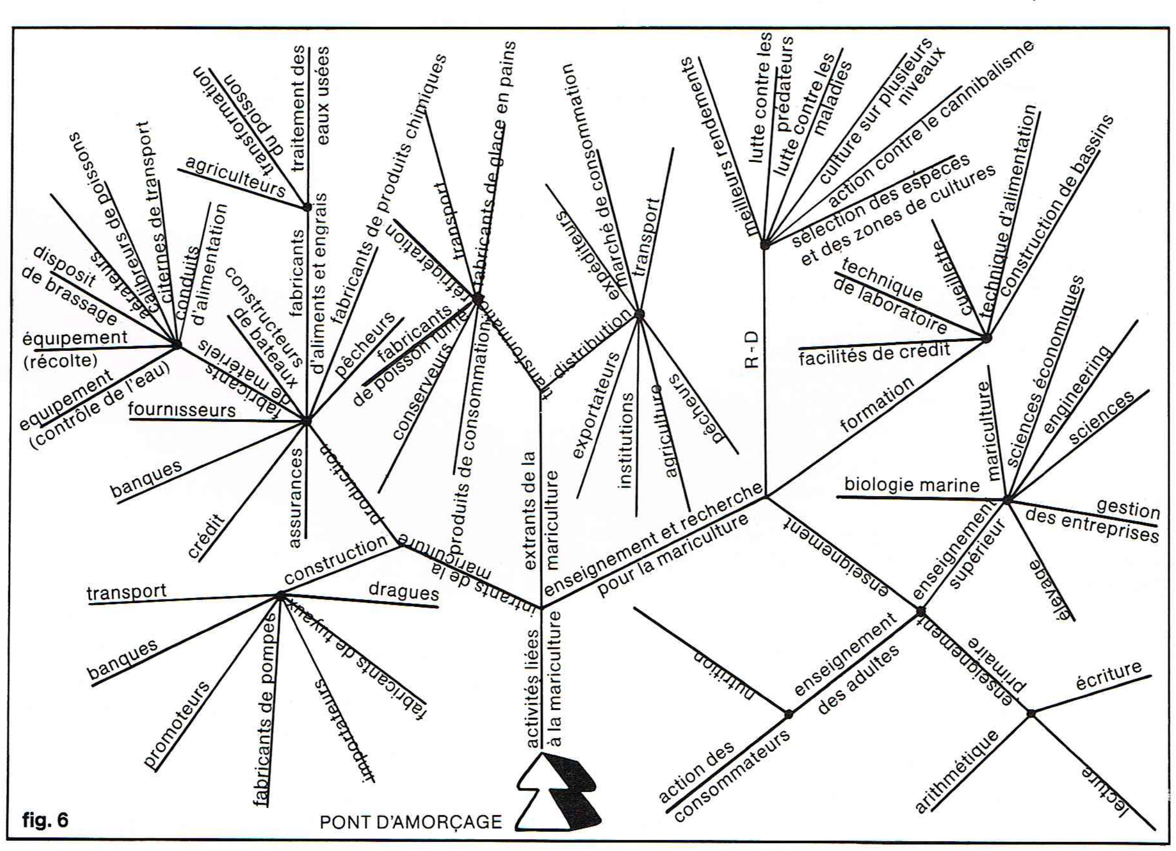
— Les dirigeants du gouvernement et de l'industrie estiment que c'est une méthode de plus en plus nécessaire pour comprendre les effets de la technique à moyen et long terme. Dans les deux secteurs, il y a une prise de conscience de plus en plus grande de l'importance du TA dans l'amélioration des procédés de politique de planification et dans l'élargissement des bases d'information pour les responsables des décisions.

— Le TA est utilisé par les grandes sociétés, comme outil de planification industrielle et comme base de départ pour une politique économique de l'entreprise.

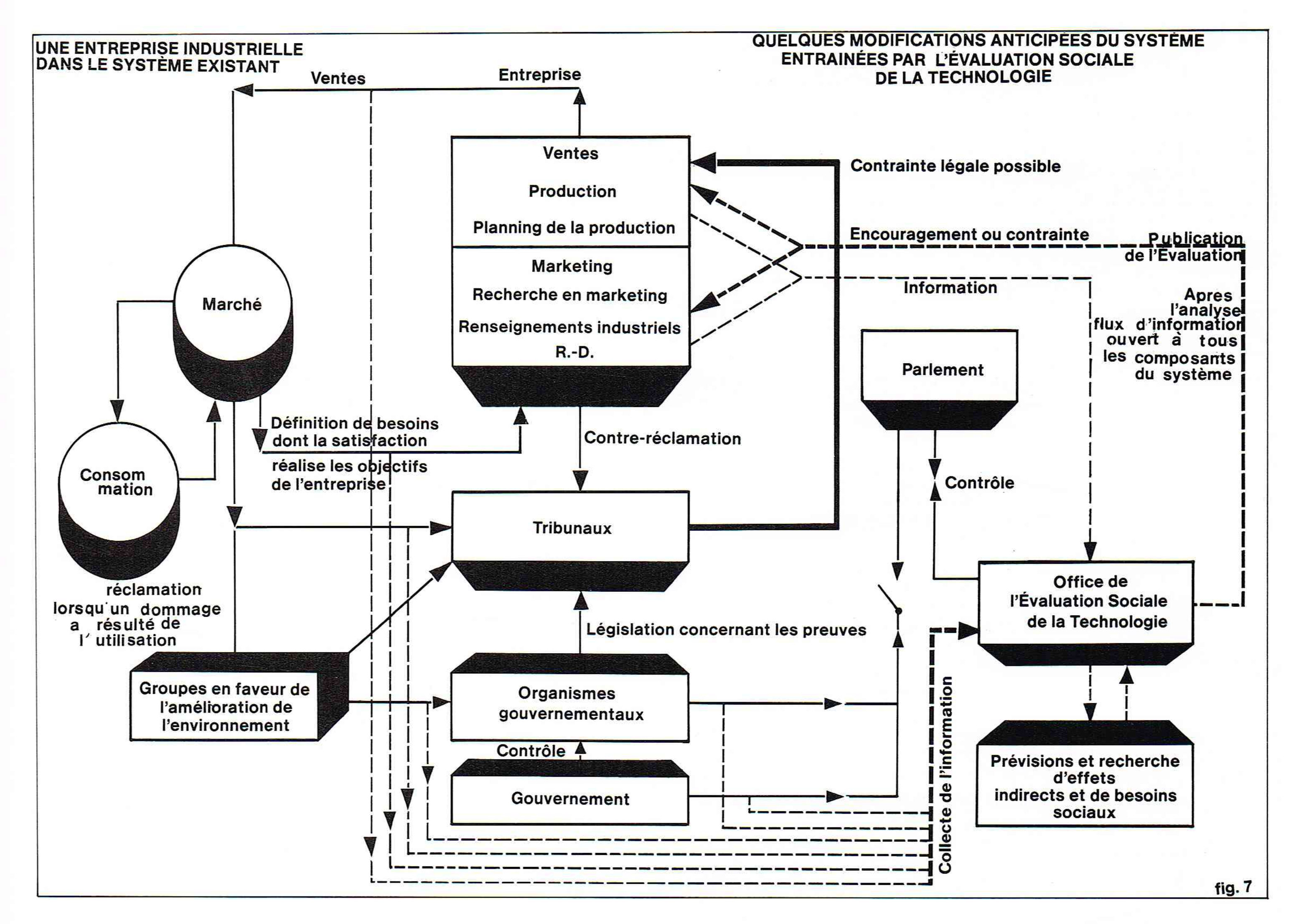
— L'une des leçons les plus intéressantes est que l'industrie et le gouvernement recherchent et utilisent des moyens nouveaux et raffinés pour résoudre les problèmes complexes et multiples qui se présentent à la société actuelle » (*fig.* 7).

### Nécessité de L'EST dans l'industrie

Nombreux sont les exemples qui montrent clairement la nécessité pour les entreprises industrielles de procéder à des EST. En effet, comment oublier que l'on n'est




▶ *Figure 6 : exemple de technique d' « arbre de pertinence », quelques éléments de la filière « Mariculture » [d'après Robert C. Landis, A Technology Assessment Methodology : Mariculture, dans* **la Société et la Maîtrise de la technologie,** *O.C.D.E., 1973 (F. Hetman)].*




▲ *Figure 7 : schéma des modifications susceptibles d'être entraînées par l'EST dans une entreprise industrielle (d'après Derek Medford dans* **Principes méthodologiques pour l'Évaluation Sociale de la Technologie,** *O.C.D.E., 1975).*

devenu réellement conscient des effets de la technologie médicale qu'à la suite de certains accidents comme ceux provenant de l'utilisation de la thalidomide et du talc de Morhange ?

Une catastrophe plus récente, à Seveso, a mis en évidence le fait que l'on était encore loin d'avoir procédé à toutes les études de risque nécessaires pour se prémunir contre les dangers — contamination, explosion, pollution, etc. — liés aux activités industrielles.

Notre dernier exemple sera celui d'un haut-fourneau récemment construit en Allemagne fédérale, dans la Ruhr. Lors de sa mise en service, on s'est rendu compte que les nuisances acoustiques engendrées par son fonctionnement étaient supérieures aux normes de bruit en vigueur et que les habitants concernés jugeaient cette situation évidemment insupportable.

Aucun de ces cas n'avait donné lieu à une EST. On pourrait ainsi citer bien d'autres exemples — l'aéroport de Narita au Japon, l'échouage de l' « Amoco-Cadiz » sur les côtes bretonnes... — où de nombreux problèmes et difficultés auraient pu être évités, ou du moins limités par une Évaluation Technologique.

### *Obstacles à l'introduction de l'EST dans l'industrie*

Selon une enquête menée par Volker Oberkampf de l'Institut BATTELLE - Francfort auprès de 150 grandes entreprises industrielles européennes, il ressort que trois facteurs dominants font obstacle à l'introduction de l'Évaluation Technologique dans l'industrie.

#### L'Évaluation Technologique considérée comme un art

Les problèmes que l'on veut soumettre à une évaluation sont en général mal définis ou mal posés ; il y a donc peu de chances de leur trouver une solution optimale avec certitude. De plus l'identification et l'évaluation des impacts futurs d'une innovation technologique comportent nécessairement des incertitudes sur les interactions entre certains facteurs et sur leurs incidences car ces phénomènes ne peuvent être analysés qu'à l'intérieur des limites de nos connaissances actuelles et ne peuvent être discutés qu'à partir d'hypothèses.

Enfin, l'examen d'un problème par l'EST ne peut être entièrement formalisé et ne peut fournir au mieux que des lignes directrices de réflexion et d'action à l'intérieur d'un cadre méthodologique. J. F. Coates ne considère-t-il pas, d'ailleurs, comme nous l'avons dit précédemment, que l'EST est un art qui se prête mal à la formalisation ?

Par contre, lorsque l'on traite de problèmes bien définis — comme ceux rencontrés dans l'industrie : planification de la production, optimisation de circuits de distribution, etc. — à l'aide de méthodes relevant la plupart du temps de la recherche opérationnelle, on peut indiquer des objectifs, choisir des critères de décision et envisager les moyens d'aboutir à une solution de façon concrète et détaillée.

Les industriels, qui sont pragmatiques par nature ou du moins par nécessité, se tiennent donc dans une large mesure à l'écart des problèmes mal définis et par voie de conséquence sont souvent étrangers à l'EST, qui est la méthode la plus apte à résoudre les problèmes de cette nature.

#### Problèmes généraux liés à la nature de l'EST

L'introduction de l'EST dans l'industrie est également freinée par les difficultés auxquelles une équipe d'évaluation peut se heurter au cours de ses travaux, et qui, selon V. Oberkampf, ont une triple origine :

★ *Nécessité d'une vue « holistique »*

Maints problèmes ne peuvent être analysés en dehors du système des relations qui les lient à leur environne-




M. Riboud - Magnum



J. Gaumy - Magnum

▲ *En haut, contamination de la région de Seveso (Italie) par émanation de gaz toxiques d'origine industrielle. Ci-dessus, pollution des côtes bretonnes par l'échouage d'un supertanker : l' « Amoco-Cadiz ».*

ment. Ces problèmes sont donc caractérisés par une nature fortement interactive qui se prête bien à une méthode de résolution du type EST. Cela implique pour les analystes d'avoir une vue « holistique » du problème étudié et une capacité à accepter les exigences supplémentaires liées à la démarche méthodologique et à la mise en œuvre de l'EST.

Les interdépendances d'un sujet d'étude avec son milieu extérieur — par exemple d'une entreprise avec son environnement social, écologique, politique — doivent dans une EST être prises en compte d'une manière tout à fait explicite. Or, malheureusement, avec la plupart des méthodes d'aide à la prise de décision utilisées à l'heure actuelle dans l'industrie, les phénomènes qui ont une incidence importante — notamment dans le temps — sur le domaine qui fait l'objet d'une évaluation ne sont ou même ne peuvent pas être étudiés par les analystes. De sorte que, soit le contexte d'une innovation est considéré comme « figé » (analyse en fonction de l'hypothèse : toutes choses étant égales par ailleurs), soit même on l'ignore purement et simplement.

★ *Inadéquation des méthodes*

L'objectif premier de toute EST est d'établir un bilan exhaustif des incidences d'une innovation : effets directs ou indirects, immédiats ou différés, verticaux ou horizontaux (uni- ou pluridimensionnels)...

A cet égard la démarche de l'EST s'écarte nettement des méthodes en cours dans l'industrie et, par exemple, de celles utilisées pour les études de faisabilité, les études de marché, etc. Ces dernières ont en effet un champ d'investigation unique et sont « focalisées » vers l'analyse et la précision d'impacts unidimensionnels, c'est-à-dire exclusivement techniques, économiques, ou financiers.

Les innovations susceptibles d'être soumises à évaluation par les industriels peuvent souvent être analysées en faisant appel à des méthodes quantitatives de manière non seulement à identifier leurs impacts mais encore à mesurer l'intensité de ces incidences, c'est-à-dire obtenir des informations sur l'évaluation de ces impacts dans le temps.

Dans certains cas on peut considérer les résultats obtenus par ces méthodes comme réellement objectifs.

A l'opposé, dans le domaine social, l'analyste se trouve confronté à des phénomènes ou à des éléments essentiellement subjectifs qu'il est déjà malaisé d'appréhender et dont il est, *a fortiori*, plus difficile encore de prévoir l'évolution et d'évaluer l'importance.

Les professionnels désireux de mettre en œuvre des EST dans leur entreprise ont deux autres obstacles à surmonter :

— la grande variété des méthodes et des techniques utilisées pour l'EST et leur évolution permanente risquent fort de dépasser leur compétence ;

— au surplus, il est rare, en raison de leurs responsabilités professionnelles, qu'ils puissent consacrer un temps suffisant à des travaux d'évaluation.

★ *Nature interdisciplinaire des études d'évaluation*

Prendre la vue « holistique » évoquée précédemment requiert une approche interdisciplinaire. Des études récentes ont montré que cela était nécessaire non seulement pour garantir la qualité de l'évaluation mais aussi pour des raisons d'efficacité.

En effet, pour réduire la complexité et l'étendue du problème posé, il faut au préalable identifier l'ensemble des relations du système étudié par des méthodes telles que la méthode de Delphes, qui, on le sait, font appel à la participation d'experts de tous horizons.

Cependant la constitution d'une équipe pluridisciplinaire n'est pas envisageable dans la plupart des entreprises à moins d'avoir recours à des compétences extérieures pour une durée limitée à la période d'évaluation.

### L'EST : une aide à la prise de décision politique

L'EST est essentiellement conçue pour aider à la prise des décisions politiques. C'est donc dans ce domaine qu'elle doit être la plus utilisée. Le jugement des décideurs s'exerce à partir des recommandations et sur les options qui leur sont présentées au sujet de problèmes donnant lieu à controverse. Mais il est aussi influencé par les opinions subjectives des groupes sociaux intéressés. Ainsi, l'étude d'un problème technologique spécifique devrait requérir non une EST, mais plusieurs. Cela est rarement le cas : la rigueur scientifique des recommandations et options proposées est alors fortement sujette à caution.

Cette situation conduit à envisager deux possibilités :

— soit entreprendre plusieurs EST sur une même innovation technologique, par exemple en prenant en considération les opinions des divers groupes sociaux concernés et/ou de différents consultants extérieurs ;

— soit analyser les opinions exprimées par les groupes sociaux au sujet d'un même problème à l'aide d'un modèle donnant des résultats satisfaisants sur le plan de l'objectivité.

Ces deux alternatives ne sont, en général, pas acceptables par les entreprises. En ce qui concerne la première, il n'est pas envisageable pour celles-ci d'entreprendre plusieurs EST en raison de la limitation de leurs ressources. Quant à la seconde, il n'est pas réaliste de penser que les entreprises puissent, dans l'immédiat, mettre en place des processus de consultation et de participation de leurs employés ou des citoyens à une grande échelle.

Cependant, pour certaines décisions, en particulier celles d'implantations et d'investissements, plusieurs entreprises ont déjà effectivement cherché à connaître l'avis de leur personnel. Il semble donc que ce soit plutôt dans ce sens que les choses devraient évoluer.

### *Recherche des conditions rendant possible l'introduction de l'EST dans l'industrie*

Faisant la synthèse des éléments recueillis dans son enquête auprès des industriels, V. Oberkampf exprime l'opinion que, pour favoriser l'introduction de l'Évaluation Technologique dans l'industrie, il conviendrait d'entre-

prendre des recherches théoriques et expérimentales dans quatre directions :

**Mise au point d'un cadre méthodologique** préconisant une formalisation du processus d'évaluation réduite au minimum, de manière à ne pas heurter le pragmatisme des industriels.

**Adaptation des méthodes existantes** ou création de nouvelles méthodes d'analyses de manière à satisfaire les besoins spécifiques de l'industrie.

**Mise au point d'un « mini-processus d'EST »** pour les entreprises et identification des problèmes susceptibles d'être traités par cette démarche allégée.

**Développement de la recherche** sur les problèmes organisationnels des entreprises pour y faciliter la mise en œuvre de l'EST.

## Conclusion

### Limites et contexte de l'Évaluation Technologique

Les outils méthodologiques, aussi perfectionnés soient-ils, ne sont valables que dans le cas de leur intégration dans une analyse globale du système socio-économique et d'une coopération plus grande entre les « Évaluateurs Technologiques » et la sphère politique.

Les évaluateurs technologiques, souvent conditionnés par la méthode scientifique, ne cherchent pas à formuler des recommandations fondées sur des jugements de valeur et qui tendraient à modifier le système de valeurs existant; cela leur permet d'éviter les recommandations politiques trop précises.

L'attitude contraire consiste à expliciter les valeurs et les politiques sociales avant de procéder à l'évaluation considérée comme outil de planification et d'aide à la décision. A ce niveau, les limites de l'Évaluation Technologique viennent de la difficulté à comprendre simultanément les problèmes technologiques et les problèmes sociaux. Une analyse socio-technique globale aboutirait à la construction de modèles dynamiques prenant en compte la multitude des impacts d'une innovation technologique sur l'environnement, l'économie, la société et la sphère politique.

Ce type de modèle idéal, dont le but serait de placer l'Évaluation Technologique au-delà de la prévention des effets secondaires nocifs, en favorisant un développement social équilibré en fonction des valeurs et des besoins de la société, ne peut se concevoir que dans un cadre institutionnel qui associe les processus d'innovation et de décision. Dans cette perspective, la programmation à long terme de la recherche (afin de produire des connaissances exigées par la naissance de nouvelles technologies), et des transformations juridiques et sociales sont nécessaires à la concrétisation des aspects incitatifs et régulateurs de l'Évaluation Technologique.

En bref, aux États-Unis, le « Technology Assessment » est maintenant une discipline à part entière avec ses chercheurs et ses laboratoires. La création d'un « Office of Technology Assessment » au Congrès américain a rendu son utilisation systématique, en tout cas en ce qui concerne les choix technologiques importants. Dans certains cas, parce qu'une étude de TA avait montré les conséquences négatives d'une technologie en cours d'élaboration, il a pu être décidé de ne pas la réaliser; dans d'autres cas, les aspects positifs ont pu permettre d'accentuer les recherches. Il peut se produire, également, que la mise en place d'une équipe de TA, interindustrielle et en même temps interdisciplinaire, ait pour résultat de limiter considérablement les effets d'une ou de plusieurs technologies sur la société et sur l'environnement. De telles équipes peuvent également favoriser la collaboration au niveau de la recherche entre différents secteurs industriels et donner ainsi naissance à une sorte de planification interindustrielle, permettant par exemple d'éviter que l'imprévoyance de tel secteur industriel ait des conséquences néfastes, non seulement sur l'environnement, mais aussi sur d'autres secteurs industriels.

### La France et l'EST

Bien que le problème se présente d'une manière tout à fait différente en France, et que l'évaluation des options technologiques semble avoir été depuis longtemps prise en compte, notamment dans l'action réglementaire de l'Administration (loi sur les Établissements classés, *J.O.*, Brochure 1001), il semble que nous assistions depuis quelque temps à un renouveau en matière d'Évaluation Technologique, qui se dessine à travers les quatre principales lois votées à une session parlementaire récente :

— Loi du 19 juillet 1976, relative à la Protection de la Nature.

— Loi du 19 juillet 1976 : Installations classées pour la Protection de l'Environnement.

— Loi du 7 juillet 1976 : Pollutions marines.

— Loi du 15 juillet 1975 : Élimination des déchets et récupération des matériaux.

La plus importante semble être la loi sur la protection de la nature. (Il est à signaler que le terme « étude d'impacts » entre pour la première fois dans le vocabulaire du législateur.) Bien qu'elle n'ait fait qu'entériner des pratiques administratives déjà anciennes, le fait d'avoir voulu donner un fondement légal à la doctrine constitue une étape dans la prise de conscience que les Évaluations Technologiques sont nécessaires à la protection de l'environnement.

Mais la notion même d' « environnement », difficile à limiter si elle s'étend à l' « ensemble des éléments et phénomènes tels que la modification de l'un ou de plusieurs d'entre eux soit ressentie par l'homme », peut transformer les « études d'impacts » prescrites par la loi en de véritables Évaluations Sociales de la Technologie au sens américain du terme, par l'intermédiaire d'un simple décret jouant sur la définition du mot environnement.

Récemment, un pas de plus semble avoir été fait par une proposition de loi visant à créer un Office pour l'évaluation des options technologiques au Parlement, l'expression « évaluation des options technologiques » étant définie ici comme l' « examen de toutes les incidences physiques, biologiques, économiques, sociales, politiques, que peut avoir l'introduction d'une nouvelle technologie ou l'utilisation nouvelle d'une ancienne technologie ».

Il semble donc que la pratique de l'évaluation des options technologiques soit en voie de s'institutionnaliser en France, et il sera peut-être difficile, dans la conjoncture actuelle, d'occulter longtemps sa dimension politique.

## Exemples d'études d'Évaluation Sociale de la Technologie

Voyons maintenant ce que représente concrètement l'Évaluation Sociale de la Technologie. Nous avons choisi à dessein d'aborder des problèmes très différents : le choix entre différents systèmes avancés de propulsion automobile, la modification artificielle des conditions climatiques et, enfin, le développement de l'utilisation du vidéo-phone que nous analyserons en détail.

### Évaluation de l'adoption de systèmes avancés de propulsion automobile

#### Objet de cette étude

Cette étude a été réalisée par un bureau d'études privé, *Hittman Associates*, en relation avec le *California Institute of Technology*. L'équipe chargée de cette étude comprenait huit membres du personnel de la société et trois personnes appartenant à l'URC (University Research Corporation), un organisme para-universitaire, chargées des considérations socio-économiques. L'étude fut lancée et financée par la Fondation nationale des sciences (NSF).

Les conclusions de l'étude étaient censées procurer des points de repère intégrés, factuels et analytiques permettant aux discussions professionnelles et publiques sur ce problème de se dérouler d'une manière plus raisonnée et avec plus d'informations. Son objet était d'examiner les conséquences aussi bien directes qu'indirectes de l'adoption de systèmes de propulsion automobile concurrents, susceptibles de respecter ou de dépasser les normes fédérales d'émission d'air « propre » de l'année 1975-76.

L'étude ne fait aucune recommandation relative au « meilleur » système de propulsion automobile. Une matrice fut construite pour faire ressortir les interrelations entre cinquante politiques fédérales possibles, chaque système possible et chacun des sept scénarios imaginés dans le cadre de l'étude relativement à ces systèmes.

Le groupe de recherche avait accès à un certain nombre de sources de données, parmi lesquelles on peut citer les données sur la recherche automobile, la pollution de l'air, et les données sur l'environnement fournies par les principaux constructeurs automobiles et l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA). En raison de la nature très technique de cette étude, les chercheurs n'ont pas tenté de recueillir l'opinion des citoyens ou de groupes d'intérêts. Un modèle de simulation informatique a été utilisé pour quantifier les effets prévisibles sur l'économie, les transports, l'environnement, etc., de l'adoption de chacun des systèmes de propulsion automobile étudiés.

### *Composantes de la matrice*

Les lignes de la matrice représentent les différentes options politiques possibles (50) regroupées en trois groupes :

*a*) Politiques de subventions du gouvernement, avec notamment les variantes suivantes : priorité à l'industrie, au consommateur ou aux collectivités locales.

*b*) Mesures fiscales comprenant notamment : les taxes fédérales ou d'État, les taxes locales, les primes au recyclage des déchets.

*c*) Mesures réglementaires :

— normes d'émission des gaz polluants, au niveau fédéral ou des États ;

— plafonnement de la production ;

— planification globale des transports et de l'utilisation du sol ;

— moratoire sur la construction des routes ;

— restrictions concernant l'utilisation des combustibles dans certaines zones ;

— rationnement de l'essence, du gas-oil et des pneus.

Les colonnes de la matrice indiquent d'une part les sept systèmes pris en compte :

1. cycle Rankine,
2. turbine à gaz,
3. cycle d'Otto avancé,
4. cycle d'Otto légèrement avancé,
5. cycle d'Otto rotatif,
6. batterie acide au plomb,
7. volant à inertie/système hybride.

Elles présentent d'autre part les sept scénarios retenus :

1. maintien des normes d'émission ; développement et commercialisation progressive du cycle Rankine et de la turbine à gaz ; retard dans l'introduction des systèmes avancés ;
2. maintien des normes, mais difficultés rencontrées dans le développement des nouveaux systèmes ; augmentation de l'intérêt pour le cycle avancé d'Otto ;
3. maintien des normes, mais le niveau d'émission de $NO_x$ pour le cycle d'Otto avancé ne peut être atteint sur la base d'un entretien tous les 80 000 km ; abandon progressif du cycle traditionnel (Beau de Rochas) pour le cycle d'Otto avancé ;
4. subventionnement massif des transports en commun ;
5. renforcement des normes pour les émissions de $NO_x$ ;
6. apparition de véhicules non polluants dans les zones urbaines ; généralisation de la 2e voiture ;
7. incitations au recyclage des matériaux venant des voitures hors d'usage.

Le modèle utilisé affecte à chaque case de la matrice un code binaire : 0 ou + selon l'absence ou l'existence d'une relation entre les composantes concernées de la matrice.

Les résultats fournis par la simulation de chaque scénario sont analysés à l'aide de graphes.

### *Conclusion*

Cette étude ne permet pas d'évaluer des stratégies, mais elle fournit des informations aux instances qui prennent les décisions. Elle est principalement fondée sur un modèle informatique qui a révélé une richesse de relations et de conséquences qui n'étaient ni évidentes ni prévues. Il faut remarquer qu'il est impossible à un non-informaticien de comprendre ce qui est inclus dans le modèle et ce qui ne l'est pas ; de même, pour comprendre les différents scénarios, il est nécessaire de s'y connaître en mécanique automobile.

Il s'agit donc d'une étude faite par des experts pour des experts, qui reste absolument inaccessible à la plupart des gens, même dans la forme résumée sous laquelle elle a été diffusée. Une étude de ce type est cependant fort utile aux constructeurs d'automobiles, puisqu'elle leur donne des indications sur la manière d'adapter leur production aux contraintes qui vont découler d'une sévérité accrue des normes d'émission et de la crise de l'énergie. La plupart des stratégies envisagées dans la matrice sont des stratégies réglementaires, c'est-à-dire faisant appel à une action réglementaire des pouvoirs publics. Comme l'a montré T. Lowi, ces stratégies sont bien conformes aux pratiques habituelles du système politique américain lorsqu'il s'agit de se prémunir contre certains risques : « Si le gouvernement doit avoir une action réglementaire, comme on l'a affirmé, il a alors nécessairement besoin de scientifiques pour étudier en détail les mesures à prendre, avancer les arguments et les justifications en faveur de cette réglementation et mettre au point les techniques permettant aux industriels de les appliquer. » C'est précisément l'objet de cette étude.

## *Évaluation d'une modification artificielle des conditions climatiques*

### *Objet de cette étude*

Il s'agit d'une évaluation des effets de l'augmentation artificielle des chutes de neige en hiver dans le haut bassin du Colorado, étude réalisée par l'Institut de recherche de l'université de Stanford (SRI) pour le compte de la NSF.

Une vingtaine de personnes se sont partagé la responsabilité du projet ; la plupart étaient des chercheurs du SRI et les autres venaient soit de l'université de Californie, soit de bureaux d'études privés. Neuf autres consultants ont aussi été engagés pour traiter de sujets spécialisés tels que la météorologie, l'économie, les questions relatives à la législation et aux institutions.

L'étude a été engagée par le Comité interministériel sur la science de l'atmosphère. Il s'agit en quelque sorte d'une excroissance d'un programme opérationnel du ministère de l'Intérieur (Department of the Interior) sur les expériences de modification du temps.

L'étude fournit une série de recommandations pour la recherche et le développement visant à éclaircir certaines incertitudes qui compliquent la planification et les décisions dans le domaine météorologique. Elle comprend également des recommandations relatives à l'établissement d'un Comité fédéral pour la réglementation des modifications du temps.

### *Méthodologie*

Un certain nombre d'outils statistiques classiques sont employés. Par exemple, on a calculé des coefficients de corrélation pour relier les modifications des chutes de neige aux décès causés par les principales insuffisances cardio-vasculaires, la grippe et la pneumonie, les accidents de la route, etc. Le rapport est centré sur une chaîne causale étroitement combinée à une analyse de systèmes.

Le modèle relie visuellement un certain nombre de considérations qui sont conceptuellement interdépendantes. Les principaux éléments étudiés dans l'analyse



▼ ***Déclenchement volontaire d'une avalanche à Squaw Valley par le tir d'un canon de 105 mm.***

U.S.I.S.

du système sont : une définition (description technique) du système d'accroissement des chutes de neige ; les modifications initiales que ce système apporterait à l'environnement et aux systèmes écologiques et sociaux ; les effets secondaires et tertiaires qui s'ensuivraient ; les conséquences sur les décisions politiques et administratives de ces modifications ; leurs conséquences sur les ressources naturelles.

Cette étude analyse différentes conséquences du projet : les risques d'avalanche ; les risques d'inondation ; les effets sur l'environnement (effets sur la faune, effets sur les rivières et les lacs, effets de l'iodure d'argent) ; les effets économiques (effets de l'augmentation de l'enneigement, besoins en eau, accroissement des disponibilités en eau et problème de la propriété de l'eau résultante).

Le rapport comprend des recommandations concernant l'action réglementaire, la recherche et le développement, les modifications à la législation et à la politique gouvernementale, les mesures de sécurité.

De plus, on a effectué une étude des comportements vis-à-vis de ces problèmes, en s'adressant principalement, mais non uniquement, aux résidents de la zone concernée. Cette étude a révélé qu'ils jugent l'expérience souhaitable parce qu'elle fournit davantage d'eau pour certains usages, à condition que les instances qui prennent les décisions prévoient des modes de contrôle prenant en considération les conséquences néfastes possibles pour eux.

### *Conclusion*

Cette étude est plus accessible au citoyen moyen que la précédente, surtout sous sa forme abrégée, probablement parce que son sujet est beaucoup moins technique. Cette forme abrégée constitue de plus un effort de vulgarisation non négligeable qui était absent de l'étude précédente. Elle comprend l'évaluation des différentes politiques et des propositions concernant une « bonne » politique pour gérer le processus dans « l'intérêt général ». Elle intègre également une certaine forme de participation par le biais de l'étude des comportements.

Cependant, elle n'a pu éviter les inconvénients d'une telle approche ; comment le pourrait-elle d'ailleurs ? Son rôle n'est pas — comme pour toute Évaluation Sociale d'une Technologie — d'analyser les déterminants de la technologie à évaluer ni de mettre en cause la croissance technologique en général : « Nous pouvons éviter certains problèmes si nous interdisons le développement ou l'application d'une technique qui engendre des difficultés. Si le projet est suspendu, les bénéfices éventuels sont perdus. Une seule manière de régler les problèmes potentiels semble prometteuse : anticiper ces problèmes puis mettre en œuvre les moyens et les motivations permettant de les minimiser au sein des institutions qui seront amenées à développer et à appliquer cette technique. »

Les auteurs de l'étude estiment donc que les institutions chargées de promouvoir l'utilisation d'une nouvelle technique doivent impérativement se prémunir contre les difficultés ou les dangers qui pourraient en résulter. Deux situations peuvent se présenter : il s'agit ou bien d'organismes privés, qui doivent alors inclure un processus d'Évaluation Sociale de la Technologie dans leur action, ou bien d'organismes publics. Dans les deux cas, l'intervention de l'État est accrue, dans l'un par la voie réglementaire, dans l'autre par la voie administrative.

Quant à la « participation du public », qui se traduit dans cette étude par une « étude des comportements », elle semble avoir donné ici des résultats dérisoires : la conclusion à laquelle aboutissent les auteurs est que le public est prêt à accepter l'introduction du nouveau procédé à condition que ses « mauvais » effets soient contrôlés. Était-il vraiment nécessaire de faire une étude de « comportements » pour arriver à une telle conclusion ?

En résumé, bien que la deuxième étude puisse être considérée comme moins « technocratique » que la première, car elle est plus accessible au public, ni l'une ni l'autre ne permet la participation annoncée de celui-ci. Et après dix ans d'Évaluation Sociale de la Technologie aux États-Unis, pratiquement aucune étude de ce genre n'a su l'intégrer réellement.

On peut encore dire que ces deux études constituent un échantillon représentatif des EST réalisées dans ce pays.

## *Évaluation du développement du vidéo-téléphone*

### *Objet de cette étude*

Au cours des cent dernières années, le nombre des téléphones en France a augmenté considérablement. Il augmentera encore davantage dans les années qui viennent conformément à la volonté des pouvoirs publics. Le téléphone fait partie intégrante de la vie des Français et on l'utilise à tout instant et pour toutes sortes de raisons. Il est devenu absolument indispensable, à tel point qu'une personne qui n'en a pas chez elle est en quelque sorte « handicapée ». Il n'est donc pas exagéré de dire que le téléphone marque profondément notre société.

Le vidéo-téléphone est un téléphone auquel on a ajouté un récepteur de télévision ; il permet ainsi de transmettre à la fois le son et l'image dans une conversation téléphonique.

Il n'y a pratiquement pas de vidéo-téléphones en service à l'heure actuelle en France ; mais que se passerait-il si on introduisait le vidéo-téléphone et si on le rendait accessible à tous ? Un grand nombre d'actions seraient facilitées : par exemple, le vidéo-téléphone peut être utilisé pour des communications en face à face, pour visualiser des textes télégraphiques, comme terminal d'ordinateur, et dans ce cas, il permet de voir d'un seul coup l'ensemble des informations nécessaires à un calcul. Les infrastructures de télécommunication nécessitées par le vidéo-téléphone permettent également de transmettre des données entre ordinateurs à des vitesses considérables : on peut ainsi reproduire des documents à distance avec beaucoup de détails en un temps record.

Il y a peut-être maintenant mille appareils de ce genre en service dans le monde. Malgré ce faible nombre, il a été possible de mettre en évidence certains des impacts que l'introduction et l'utilisation massive du vidéo-téléphone auraient sur la société.

Après avoir décrit rapidement les caractéristiques techniques du vidéo-téléphone nous évaluerons ses impacts économiques et sociaux.

### *Caractéristiques des différentes sortes de vidéo-téléphones*

#### Vidéo-téléphones animés

Ce sont des appareils qui transmettent une image animée pouvant être celle de l'interlocuteur. L'exemple le plus connu est celui du *Picturephone* de la Companie Bell qui est actuellement utilisé à Pittsburgh et à Chicago. C'est le seul cas connu d'un tel service offert par une compagnie de téléphone.

On sait que pour transmettre une image par radio ou par câble comme dans le cas du vidéo-téléphone, il faut davantage de canaux que pour transmettre le son, car on transmet beaucoup plus d'informations à la fois : l'image est obtenue par le déplacement d'un faisceau lumineux à intensité variable selon des lignes horizontales de haut en bas de l'écran. Puisque l'œil humain retient une information lumineuse pendant un court espace de temps et

U.S.I.S.



◀ ***Un des premiers modèles de vidéo-téléphone de la Bell Telephone (États-Unis).***



cliché CNET



U.S.I.S.

▲ *A gauche, modèle de vidéo-téléphone :* le Visiophone de *la société Matra (avec son nouveau terminal). A droite, modèle récent de vidéo-téléphone,* le Picturephone *(Bell Telephone System) est utilisé par la Westinghouse Electric Corporation pour les communications entre ses bureaux de Pittsburgh et New York.*

▼ *Tableau V : systèmes de vidéo-téléphones animés en service ou à l'étude.*

que ce faisceau lumineux se déplace très vite, on a l'illusion, en regardant l'écran, de voir une image alors qu'en réalité, à un instant donné, seul un point de cet écran est réellement lumineux (phénomène de rémanence).

Plus il y a de lignes horizontales à balayer par le faisceau lumineux, plus il y a d'informations à transmettre dans le même temps. La télévision française utilise, par exemple, des images définies par 625 ou 819 lignes. Comme l'écran du *Picturephone* est nettement plus petit qu'un écran de télévision moyen, on arrive à avoir une image nette avec seulement 251 lignes. Le faisceau lumineux étant obtenu par la projection d'électrons sur l'écran (principe du tube cathodique), le nombre de points d'impact par ligne est aussi une mesure de la quantité d'informations transmises : dans le cas de la télévision, on arrive à 800 points d'impact par ligne; dans le cas du *Picturephone,* on se contente de 211 points. Bien entendu, si elle était agrandie, l'image obtenue serait beaucoup moins nette qu'une image de télévision. Enfin, comme pour le cinéma, plus on produit d'images par seconde, plus le mouvement est décomposé et donc plus il paraît continu. Dans le cas du vidéo-téléphone, comme pour la télévision, trente images sont transmises à la seconde, ce qui augmente d'autant le nombre d'informations à transmettre dans le même temps.

La transmission téléphonique de l'image est donc beaucoup plus compliquée que celle du son. Par conséquent, elle nécessite des installations bien plus sophistiquées et donc bien plus coûteuses. L'information doit être « codée », c'est-à-dire transformée en impulsions électriques dans des centraux spéciaux relativement nombreux, car l'image non codée ne peut être transmise à plus de 9 km de son point d'émission.

D'autres compagnies fabriquent des appareils de ce genre. Le seul autre modèle qui soit commercialisé actuellement est celui fabriqué par Stromberg-Carlson. Ericsson a également mis un système au point en Suède, mais les appareils correspondants ne sont pas encore produits à grande échelle. En France, trois firmes ont travaillé en collaboration sur un système français, le *Visiophone.* Il s'agit de CIT-Alcatel, Thomson-Brandt et Matra. Un mini-réseau d'essai est à l'heure actuelle en cours d'expérimentation à Paris au sein des services de recherche des P.T.T., entre un certain nombre de bureaux de poste importants et le secrétariat d'État aux Télécommunications. Pour l'instant, il n'est pas question de permettre l'utilisation d'un tel système en France par des utilisateurs privés : la priorité est plutôt donnée à l'amélioration du réseau téléphonique classique qui est encore loin de répondre à la demande et pour lequel un effort considérable reste à faire.

Le *tableau* V fait le point sur les recherches effectuées dans ce domaine.

**Vidéo-téléphones à images fixes**

Ce sont des appareils qui, en plus de la voix, transmettent des images fixes. La conversation ressemble alors à la présentation d'un montage audiovisuel de diapositives. Il n'y a donc pas de spectateurs sur place, mais les téléspectateurs, à l'autre bout du fil, peuvent eux-mêmes répondre par un montage équivalent. L'avantage évident par rapport au système animé est que les infrastructures de télécommunication nécessaires (câbles, etc.) sont beaucoup moins importantes et finalement assez proches de celles du téléphone classique (la quantité d'informations à transmettre est en effet beaucoup plus faible, puisqu'il n'y a pas plusieurs images à la seconde mais une seule image pour plusieurs secondes). Par conséquent, l'utilisation d'un tel équipement dans un proche avenir par des utilisateurs privés est nettement plus probable que dans le cas précédent.

Du point de vue technique, le principe est assez simple : l'image est transformée en impulsions sonores qui peuvent ainsi être enregistrées sur un magnétophone classique. De plus il y a un gros avantage à pouvoir utiliser le réseau téléphonique existant : le coût d'une communication n'est pas plus élevé que celui d'une communication normale et il suffit d'acheter dans le commerce un visualisateur spécial pour transformer un poste classique en vidéo-téléphone à images fixes.

La firme américaine RCA a d'ores et déjà lancé un tel visualisateur, le *Videovoice,* disponible sur le marché

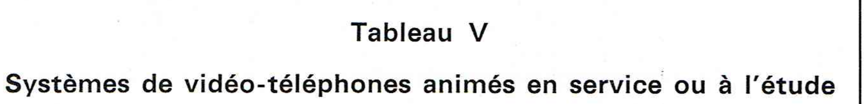


**Tableau V**

**Systèmes de vidéo-téléphones animés en service ou à l'étude**

| Pays | Fabricant | Nom du système | État d'avancement |
|---|---|---|---|
| États-Unis | Western Electric (Système Bell)<br>Stromberg-Carlson<br>GTE | Picturephone<br>Vistaphone<br>Pictel | En service (Chicago et Pittsburgh)<br>En cours de fabrication<br>Démonstration |
| Suède | L.M. Ericsson | — | Production limitée et essais |
| Grande-Bretagne | Post Office<br>Pye<br>Plessy | Viewphone<br>Videophone<br>— | Essais limités<br>Apparemment simple réservation d'appellation<br>Expérimental |
| Japon | Toshiba<br>Fujitsu<br>Nippon Electric<br>Hitachi | —<br>—<br>—<br>— | —<br>—<br>—<br>— |
| Allemagne fédérale | Siemens | — | — |
| France | CIT-Alcatel<br>Thomson-Brandt<br>Matra | Visiophone | Démonstration |
| Pays-Bas | Philips | — | — |

américain (on peut le louer comme on loue un photocopieur). Le seul inconvénient, c'est que pendant le temps de transmission de l'image (qui, comme nous l'avons dit, est « transformée en son »), c'est-à-dire pendant environ 55 secondes, il n'est pas possible de parler, sauf si l'on dispose d'un autre appareil de téléphone de part et d'autre. Si l'objet ou le document dont on veut transmettre l'image est mobile, une sorte de photographie instantanée est prise et c'est celle-ci qui est transmise. Si elle n'a pas été enregistrée, l'image qui apparaît à l'autre bout du fil reste en mémoire pendant environ 30 minutes.

### *Techniques concurrentes du vidéo-téléphone*

Un certain nombre de techniques existantes ou en cours de mise au point peuvent apparaître comme concurrentes du vidéo-téléphone. Comme nous allons le voir, une seule rivalise réellement avec celui-ci, alors que les autres sont ou seront des compléments éventuels.

#### Appareils « Facsimile »

C'est le nom donné aux États-Unis aux appareils qui permettent de reproduire une image à distance. Ce genre d'appareil est par exemple utilisé par les reporters en mission pour transmettre des clichés à leur journal ; il peut être utilisé avec des lignes téléphoniques ordinaires : un premier appareil code l'image à une extrémité et un second la décode à l'autre. On voit tout de suite qu'il peut servir à reproduire sur papier les images transmises par vidéo-téléphone, qu'il soit animé ou non. Un tel appareil utilisé seul peut cependant, dans de nombreux cas, remplacer le vidéo-téléphone, surtout le modèle statique.

Le modèle de « Facsimile » le plus répandu est celui de la firme Rank Xerox (le plus gros fabricant de photocopieurs) : le « télécopieur ». Le coût d'utilisation d'un « télécopieur » est nettement plus faible que celui d'un vidéo-téléphone statique : on peut en louer un pour environ 500 F par mois (1978), et le papier spécial nécessaire à la reproduction coûte environ 50 centimes la feuille. Cependant, le fait que la reproduction se fasse par un moyen mécanique engendre une perte de qualité à chaque reproduction. Un usage conversationnel comparable à celui du vidéo-téléphone statique est donc très difficile : à la troisième ou quatrième reproduction du même document — qui est par exemple l'objet d'une discussion —, on ne voit pratiquement plus rien.

#### Vidéo-cassettes

Il s'agit cette fois-ci tout simplement de bandes magnétiques comparables aux cassettes sonores couramment utilisées aujourd'hui, avec la seule différence que l'image est également enregistrée. Pour écouter et regarder la bande, il suffit d'utiliser un magnétoscope, c'est-à-dire l'équivalent d'un magnétophone pour les vidéo-cassettes. Un magnétoscope peut se brancher sur n'importe quel appareil de télévision. Pour effectuer les prises de vue, on se sert d'une caméra de télévision : l'image est ainsi directement enregistrée sur bande magnétique ; elle peut être ensuite transmise par la poste.

L'inconvénient est bien entendu que toute conversation en temps réel est absolument impossible. Le gros avantage est que la capacité d'une cassette est énorme en ce qui concerne l'enregistrement de documents : en miniaturisant les textes à l'extrême, on arrive à enregistrer plusieurs ouvrages entiers sur une même cassette : environ 20 millions de mots sur une cassette de 60 minutes. Les vidéo-cassettes peuvent évidemment être utilisées en complément de vidéo-téléphones animés ou non : dans ce cas, le message transmis peut être un enregistrement de vidéo-cassette aussi bien qu'une conversation réelle.

#### Télévision par câble à deux directions

Alors que les deux systèmes précédents ne concurrencent pas réellement la vidéo-téléphonie, puisqu'ils ont des usages différents et peuvent être utilisés en complément d'un vidéo-téléphone, ce n'est pas le cas des systèmes de télévision par câble à deux directions, qui sont des systèmes conversationnels, indépendants du réseau téléphonique : tous les appareils d'un même secteur sont reliés par câble à un central muni d'une antenne collective et assurant les fonctions d'émission et de réception. Le système est donc une habile combinaison des techniques du téléphone et de la télévision.



U.S.I.S.

▲ ***Le Videovoice de la Radio Corporation of America (RCA) est un système permettant la transmission, à longue distance, d'images en noir et blanc.***

Ce système est très répandu aux États-Unis pour la réception des programmes commerciaux de télévision, sans fonction émettrice bien entendu. Il permet ainsi à un téléspectateur relié au câble de recevoir des émissions de télévision assez éloignées : presque chaque ville américaine dispose de plusieurs chaînes de télévision locales. C'est ainsi que dans certaines villes, les abonnés au « câble TV » arrivent à recevoir plus de vingt chaînes provenant parfois de plus de dix villes différentes.

Un système à deux directions à l'aide duquel chaque abonné pourrait à son tour émettre une émission personnelle remplacerait avantageusement le vidéo-téléphone. Cependant, il faudrait alors créer des centraux comparables aux centraux téléphoniques et ceux-ci seraient bien plus complexes. Pour l'instant, les promoteurs du système limitent leur ambition à permettre une réponse statique de la part de l'abonné, c'est-à-dire l'envoi d'un document par voie téléphonique, par exemple en réponse à une émission télévisée arrivant par câble. C'est ce type de projet qui risque fort d'être mis au point et commercialisé prochainement. Il permettra par exemple à de très nombreuses personnes de participer simultanément à des jeux télévisés. Il pourra aussi donner un accès facile à des ordinateurs et chacun pourra par exemple jouer aux échecs sur sa télévision. Le problème en France est surtout un problème légal lié au monopole de l'État en ce qui concerne la radio et la télévision.

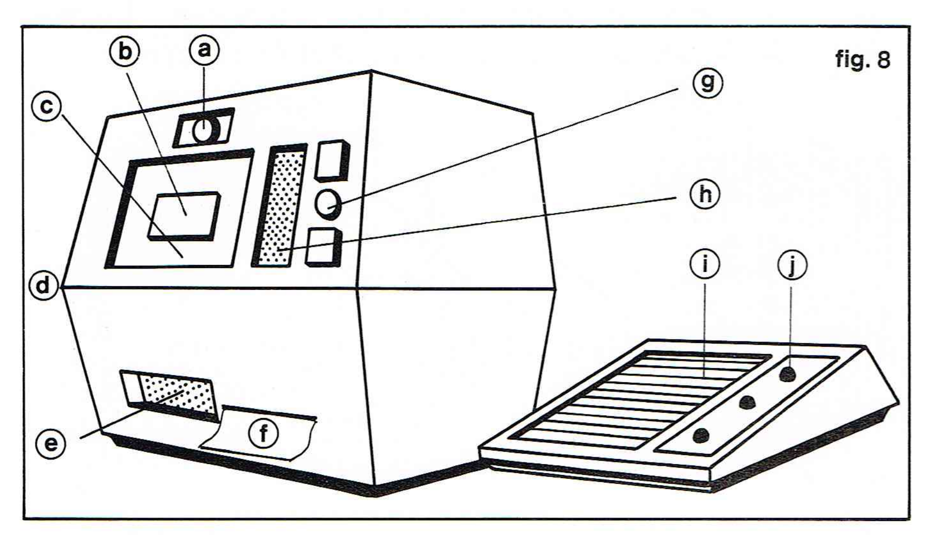
### *Vidéo-téléphone de l'avenir*

Compte tenu de l'état d'avancement des connaissances techniques dans le domaine de l'électronique, de la télévision et des télécommunications, le vidéo-téléphone qui a le plus de chances d'être commercialisé dans les années à venir, et dont nous étudierons les

▼ ***Exemple de transmission visiophonique couplée avec un télécopieur sur le même canal (matériel Matra).***

cliché CNET






▲ *Figure 8 ; schéma du vidéo-téléphone de l'avenir :* a) *caméra vidéo avec cache permettant de se servir du dessus de l'appareil comme dans une photocopieuse pour la reproduction et la transmission de documents,* b) *petit écran pour la réception d'images « animées »,* c) *grand écran pour le fonctionnement en mode « statique »,* d) *la partie supérieure de l'appareil peut pivoter par rapport à la partie inférieure (modification de l'orientation de l'écran pour la réception et de la caméra pour l'émission),* e) *réceptacle pour* vidéocassettes, f) *sortie du papier provenant du « Facsimile » (comparable à une sortie d'imprimante d'ordinateur),* g) *sélecteur de mode animé ou statique,* h) *haut-parleur et micro,* i) *clavier alphanumérique complet,* j) *interrupteurs et boutons de contrôle de l'ensemble.*

▶ *Page ci-contre, figure 9 : l'interrogation de banques de données à partir d'un téléphone à clavier avec réponses sur écran de télévision.*

impacts sociaux et économiques, aura à peu de choses près les caractéristiques suivantes :

— un petit écran de télévision en couleur à définition équivalente à celle du *Picturephone ;*

— la possibilité de choix entre mode de fonctionnement « animé » et mode de fonctionnement « statique » pour la transmission de textes ou de documents graphiques préparés à l'avance et nécessitant une très bonne qualité de reproduction et une bonne précision ;

— en option, un appareil de reproduction sur papier « Facsimile » couplé à l'appareil ;

— en option, un enregistreur — lecteur de vidéo-cassettes — couplé également à l'appareil et capable de reproduire plusieurs minutes d'échanges « animés » ou des milliers de documents « statiques ». Les informations enregistrées sur vidéo-cassettes pourraient alors être soit en partie reproduites sur papier par l'appareil « Facsimile », soit retransmises au cours d'un échange ultérieur ;

— en option, un clavier électronique alphanumérique pour la transmission directe de textes ou documents écrits, et les échanges éventuels avec un ordinateur ;

— une sonnerie d'appel permettant de savoir qu'un autre utilisateur essaie d'établir le contact pour une communication vidéo-téléphonique, avec un dispositif permettant d'interrompre un usage non conversationnel de l'appareil ;

— un haut-parleur et un micro permettant de se servir de l'appareil les mains libres pour prendre des notes ou faire des calculs.

La *figure* 8 illustre ce vidéo-téléphone « de l'avenir ».

### *Utilisations potentielles du vidéo-téléphone*

Si l'on vous demandait aujourd'hui si vous aimeriez posséder un vidéo-téléphone et quel usage vous pourriez en faire, vous répondriez peut-être que vous vous

A. Noguès - Sygma




▶ *Console de visualisation (écran + clavier) couplée à un ordinateur.*

en passez très bien. Mais n'auriez-vous pas déclaré la même chose il y a quelques années au sujet des calculateurs de poches qui sont aujourd'hui si répandus ?

Toutes sortes de possibilités nouvelles liées à l'introduction généralisée du vidéo-téléphone auront des conséquences imprévues. Il n'est bien entendu pas possible d'énumérer toutes les utilisations potentielles du vidéo-téléphone. La liste qui suit n'est donc pas limitative.

### Échanges « personne à personne »

— Servir de complément aux conversations téléphoniques normales ;

— permettre aux sourds-muets d'utiliser un mode de télécommunications ;

— faciliter une nouvelle sorte de « visites » dans les hôpitaux, les prisons et les postes de travail isolés (les phares par exemples) ;

— permettre la création de services de diagnostic médical et de consultations instantanés à domicile ;

— permettre des entretiens, des interviews, des auditions, des démonstrations à distance pour l'embauche, la prestation de services, la vente et les dossiers de crédit ;

— éviter des déplacements locaux ou lointains ;

— permettre des conférences à distance entre plusieurs personnes pour remplacer les petites réunions ;

— faciliter la participation à des événements éducatifs particuliers, à des conférences, à des expériences ; permettre les leçons particulières à distance ;

— ajouter un caractère humain à certains nouveaux services sociaux telles que les agences matrimoniales ;

— permettre la participation à des débats publics, par exemple municipaux ;

— permettre la création de nouveaux services tels que guichets de banque télévisés pour opérations ne nécessitant pas de remise de documents ou d'argent (par exemple pour les transferts ou la vente de titres).

### Échanges « personne à personne » avec transmission de documents ou de graphiques

— Faciliter les révisions, les corrections, la mise en page, la présentation et l'estimation du coût de l'impression des textes scientifiques ou littéraires ;

— augmenter l'utilité de discussions fondées sur des graphiques ou des équations, des abaques, des tableaux, etc. ;

— permettre l'identification des objets volés ou perdus — ainsi que celle des enfants perdus ;

— permettre des déclarations politiques, commerciales ou religieuses personnalisées utilisant des bandes ou des vidéo-cassettes préenregistrées ;

— permettre de faire visiter « à distance » et sans déranger l'occupant actuel les logements à vendre ;

— rendre possibles des travaux dirigés à distance pour les étudiants ;

— faciliter l'accès aux dossiers médicaux et la lecture des diagnostics (radiographies, encéphalogrammes, cardiogrammes, radiogrammes et examen des tissus) et accélérer leurs tranferts.

### Échanges « personne à ordinateur »

— Permettre l'accès à des services d'information, y compris des informations comparées sur les prix pour les consommateurs, les offres d'emploi (par exemple, celles de l'ANPE), les horaires des activités culturelles, y compris les concerts et les séances de théâtre et de cinéma, les horaires des transports urbains et interurbains, les informations météorologiques et sur l'état des routes et de la circulation, les informations boursières, les menus des restaurants, etc. (*fig.* 9) ;

— permettre d'obtenir en urgence des conseils médicaux ou concernant des réparations de plomberie ou d'électricité, ou sur le fonctionnement d'appareils ménagers ou la réparation des automobiles ;

— permettre des sessions de formation programmées sur ordinateur sur des programmes scolaires, ou concernant le bricolage, les activités sociales et des leçons de conduite automobile par simulation ;

— offrir des services de conseil pour des questions pédagogiques, personnelles (par exemple, psychanalyse) et conjugales avec l'aide simultanée d'ordinateurs et de conseillers ;

— permettre l'accès à des fichiers de données ou à des dossiers stockés dans la mémoire de l'ordinateur ;

— faciliter les calculs complexes privés comme la déclaration d'impôts ou la tenue des comptes bancaires personnels ;

— permettre la mise en page directe des journaux à partir d'articles envoyés par des reporters aux quatre coins du monde.

**Échanges « personne à machine »**

— permettre des systèmes de contrôle à distance pour renforcer la sécurité, la prévention du vol et de l'incendie, la prévision des tremblements de terre ;

— permettre la surveillance à distance des personnes, par exemple des grands malades, des prisonniers ou des malades mentaux ;

— rendre possibles la transmission et la réception de « courrier télévisé » en utilisant l'écran de l'appareil ou de courrier normal imprimé sur le papier du « Facsimile ».

**Échanges « machine à machine »**

— Transférer rapidement des fichiers d'un ordinateur à l'autre (en utilisant les infrastructures de communication mises en place pour le vidéo-téléphone).

Bien entendu, seules quelques-unes de ces applications pourront être abordées dans l'évaluation qui va suivre. La classification ci-dessus pourra cependant servir de guide.

***Problèmes humains liés à l'introduction du vidéo-téléphone***

L'idéal serait bien entendu que toute innovation technologique de l'importance du vidéo-téléphone corresponde réellement à un besoin véritable de l'homme, puisque, par la force des choses, il s'agit également d'une innovation sociale importante. En fait, ce n'est jamais ainsi que cela se passe : l'introduction de nouveaux produits correspond à la convergence de considérations économiques complexes et d'un avancement de la technologie permettant une production industrielle. Cela est vrai aussi pour le vidéo-téléphone. Par exemple le *Picturephone* de la Bell était déjà prêt sur le plan technique avant qu'il soit question de l'efficacité des vidéo-télécommunications du point de vue économique. Malgré cela, on observe qu'aujourd'hui certaines tendances vont dans le sens d'une prise en compte de considérations psychosociologiques dans la décision de fabriquer de nouveaux produits. Le développement d'études d'Évaluation Sociale de la Technologie comme celle-ci en est d'ailleurs la preuve. Nous ne reviendrons pas sur ces points qui ont été abordés précédemment. Nous traiterons ici principalement des impacts de l'usage du vidéo-téléphone comme moyen pour deux personnes ou plus de correspondre entre elles.

**Vidéo-téléphone et vie privée**

On parle beaucoup aujourd'hui des « atteintes à la vie privée » en faisant référence à certaines activités, comme celles attribuées au ministère de l'Intérieur : fichiers secrets, dossiers individuels d'activités sur ordinateur, tables d'écoute, etc. Mais ne doit-on pas considérer comme atteintes à la vie privée le démarchage à domicile, le bruit, les intrusions visuelles, etc. ? Dans une certaine mesure, le vidéo-téléphone constitue également une sorte de nouvelle fenêtre sur la vie privée de ses utilisateurs.

Le téléphone ordinaire a lui-même certainement limité la vie privée des gens depuis cent ans qu'il existe, et modifié leur comportement. Avant le téléphone, ils ne pouvaient communiquer à distance que par lettre et cela leur laissait tout le temps de modeler l'image qu'ils voulaient offrir d'eux-mêmes ; ils pouvaient aussi accorder des rendez-vous ou organiser des réunions pour se voir face à face. Le téléphone a créé un stade intermédiaire entre la lettre et la rencontre. Il y a cependant une différence importante : tandis qu'une lettre ou une rencontre se prépare, le coup de téléphone non seulement ne se prépare pas, mais en général ne s'annonce même pas. Il sonne au milieu d'une conversation, pendant un repas, lorsqu'on regarde la télévision... ; de plus, on ne sait pas qui vous appelle, de sorte qu'on se sent pratiquement

**4 L'interrogation de banques de données à partir d'un téléphone à clavier avec réponses sur écran de télévision** fig. 9

questions. réponses

dispositif de couplage téléphone-télévision

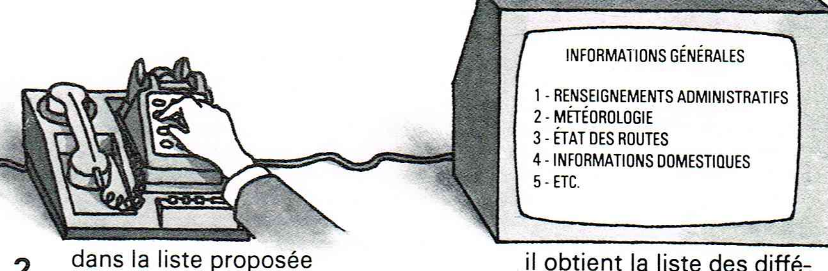
poste de télévision ordinaire

coupleur acoustique

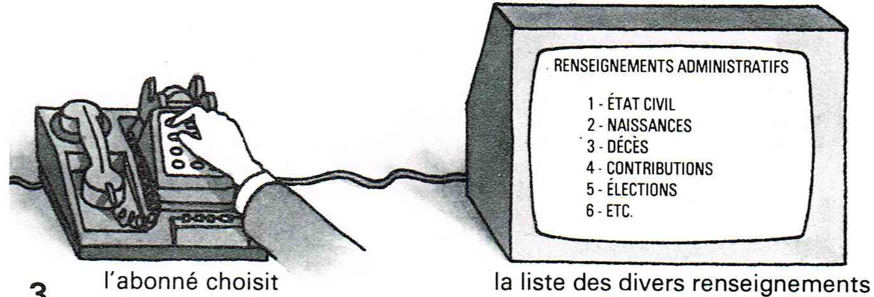
téléphone à clavier

A VOTRE SERVICE
QUELLE RUBRIQUE VOUS INTÉRESSE ?
1 - LOISIRS
2 - RÉSERVATIONS
3 - ACTUALITÉS
4 - INFORMATIONS GÉNÉRALES
5 - COMMANDES GRANDS MAGASINS
6 - GUIDE DES DÉPARTEMENTS

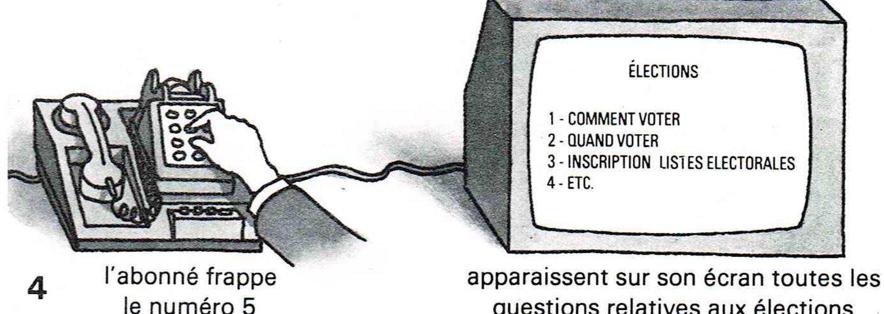
1 appel de l'ordinateur au moyen d'un n° de 7 chiffres — la liste des services proposés apparaît sur l'écran de télévision



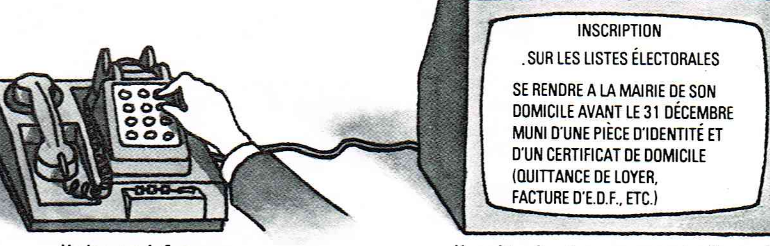

2 dans la liste proposée l'abonné choisit le n° 4 — il obtient la liste des différentes informations générales




3 l'abonné choisit le numéro 1 — la liste des divers renseignements administratifs lui est donnée

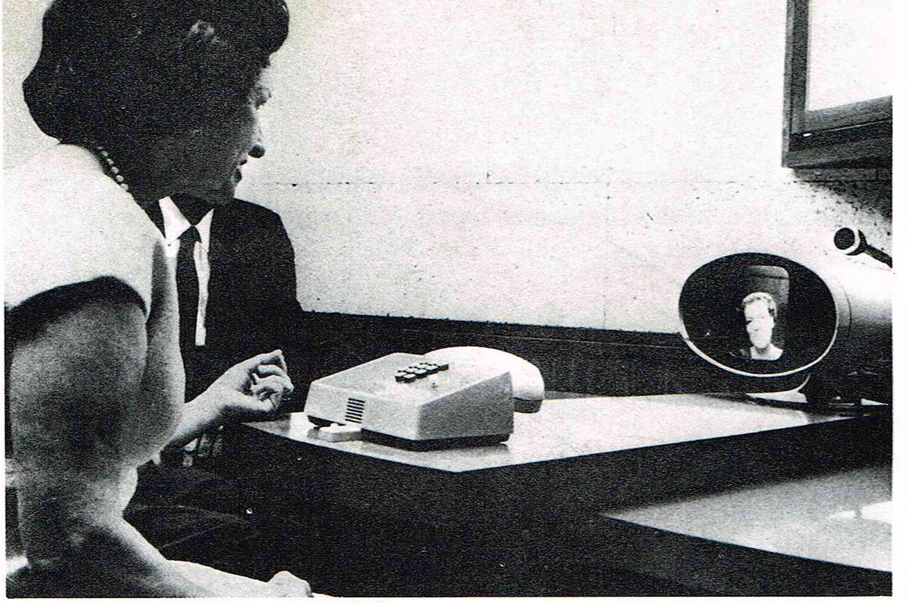



4 l'abonné frappe le numéro 5 — apparaissent sur son écran toutes les questions relatives aux élections




5 l'abonné frappe le numéro 3 — il sait où et comment s'inscrire sur les listes électorales

Tanguy de Rémur - L'Express


U.S.I.S.

▲ *Inauguration (juin 1964) de la mise en service commercial du système Picturephone (Bell Telephone Company) entre Washington, Chicago et New York par Madame Lyndon B. Johnson.*

toujours obligé de répondre. Certaines catégories de personnes, pour éviter ce type d'inconvénients, font filtrer leurs appels.

Avec le téléphone, tous ceux qui à un moment donné se sentent dérangés sont à leur tour une fois ou l'autre « dérangeurs ». Par ailleurs, le fait d'être invisible à celui qui est à l'autre bout du fil offre des avantages certains : sans paraître impoli on peut, tout en parlant, écrire une lettre, lire, faire des gestes ou des mimiques, etc. Des études ont montré combien certaines personnes sont préoccupées de la façon dont elles sont perçues par les autres ; cela se traduit par des manœuvres complexes visant à cacher son embarras et à sauver la face lorsque les choses ne vont pas comme on l'avait espéré. De nombreuses personnes ont appris à contrôler leur image vocale, mais rares sont ceux qui savent de la même manière contrôler leur image visuelle.

### Déformations des rencontres en « tête à tête »

A côté de quelques inconvénients évidents comme la limitation du champ de vision et, dans une certaine mesure, la mauvaise définition des couleurs, il y a d'autres phénomènes qui font que le vidéo-téléphone n'est pas encore l'équivalent électronique de la rencontre en « tête à tête ».

Une des causes de cette incapacité du vidéo-téléphone à donner une réplique exacte du « tête à tête » tient à l'extrême sensibilité des caméras dans la zone infra-rouge du spectre lumineux et à la transparence de la peau de l'homme sous cet effet infra-rouge. Ainsi la caméra peut faire ressortir la barbe d'un individu pourtant rasé de très près. Dans le futur, la technologie de ces caméras sera certainement modifiée pour pallier cet effet.

Un autre effet tient à la distance de vision qui sépare deux individus ou un groupe et un individu qui communiquent. Dans toutes les cultures, on a observé l'existence de distances optimales de vision appropriées à diverses situations. Le professeur Hall en a répertorié cinq :

— relation intime : distance inférieure ou égale à 54 cm ;

— relation personnelle : distance comprise entre 54 cm et 1,20 m ;

— relation sociale : distance comprise entre 1,20 m et 2,40 m ;

— relation sociale plus lointaine : distance comprise entre 2,40 et 3,60 m ;

— relation publique : distance supérieure à 3,60 m.

Pour le vidéo-téléphone, la distance optimale de vision est d'environ 1,20 m et tombe donc, selon Hall, dans la catégorie « relation personnelle ». Pour atténuer cet effet de distance, on peut imaginer quelques améliorations technologiques ; par exemple, l'introduction d'un système de sélection permettrait de faire varier le champ et la distance de vision, ou encore la création d'un « coin vidéo » pourrait donner un décor approprié à la nature de la communication.

Un autre effet négatif résulte de l'exiguïté du champ de l'écran qui oblige chaque individu à fixer intensément son interlocuteur, en créant de part et d'autre une certaine tension nerveuse. Enfin il ne faut pas négliger le fait que, lors d'une première rencontre, la moindre timidité conjuguée à une tension visuelle anormalement intense contribue à donner une image de soi-même peu avantageuse.

### Modifications des relations interpersonnelles et étude des comportements

De nombreuses expériences faites en laboratoire ont montré, par exemple, que les communications entre patrons et subordonnés étaient rendues difficiles par le vidéo-téléphone. Le patron reste en effet souvent orienté de profil et très décontracté alors que son employé se force, par politesse, à le fixer intensément et reste ainsi dans un état de tension permanente. Cependant il ne faudrait pas sous-estimer la probabilité d'une acclimatation des usagers aux relations vidéo. De plus, on peut imaginer une croissance de la demande pour le vidéo-téléphone par désir de se situer à un haut niveau de l'échelle sociale : c'est la course aux symboles, à la possession du plus grand nombre de gadgets électroniques attestant d'une réussite sociale. La nécessité économique d'une telle innovation reste, quant à elle, à démontrer.

Des études préliminaires menées par le professeur Reid et ses collègues conduisent à penser que non seulement la vidéo ne présente pas d'avantages considérables mais surtout que l'absence de tout réseau vidéo facilite même grandement toute tractation ou négociation commerciale. Le professeur Meier, quant à lui, exprime le sentiment que le « stress » des communications ne pourrait qu'être exacerbé par le vidéo-téléphone. Enfin, toujours selon lui, il semble que les relations téléphoniques présentent l'énorme avantage de ne pas figer les relations, de laisser en fait la possibilité d'une représentation imaginaire. Son grief majeur à l'encontre du vidéo-téléphone tient donc au fait qu'il risque d'épuiser totalement le champ des relations et de provoquer ainsi un appauvrissement des relations personnelles.

### Caractéristiques des utilisateurs

Avec l'augmentation considérable du rôle de l'information dans la société et surtout l'importance croissante — au moins sur le plan quantitatif — du secteur tertiaire, si la diffusion du vidéo-téléphone « prend » dans les circuits de l'information, son développement a des chances d'être extrêmement rapide.

Cette diffusion pourrait être, dans un premier temps, le privilège des grands managers de l'industrie et donc des états-majors économiques pour lesquels toute innovation technologique a valeur symbolique (luxe, statut social). Le vidéo-téléphone serait certes considéré comme un moyen d'éviter de longs et coûteux déplacements, mais si les dirigeants des grandes sociétés l'adoptaient en premier, son image serait fortement associée à celle d'un nouvel attribut hiérarchique, même s'il contribuait à réduire l'aura de mystère dont les dirigeants aiment à s'entourer. Ces hypothèses reposent essentiellement sur les travaux du professeur Rogers qui a relevé certains traits communs aux personnes susceptibles d'adopter cette innovation technologique : ce sont des personnes jeunes, placées aux postes de commande du système économique, ayant le goût du risque et un champ d'action étendu à plusieurs continents. Selon lui également, les hautes instances de direction, qui cherchent souvent à garder leurs distances et même un certain anonymat hésiteraient à utiliser le vidéo-téléphone.

### Insuffisance des recherches actuelles

Nos connaissances sur l'efficacité des différents systèmes de télécommunications et surtout sur les réponses humaines à l'introduction et à la diffusion de ces technologies sont encore notoirement insuffisantes. Il y a là sans aucun doute un vaste champ d'investigation pour les chercheurs en sciences humaines.

Illustrons ce propos par un exemple. La discrimination sous toutes ses formes (race, sexe, apparence physique, etc.) joue incontestablement un rôle non négligeable dans le fonctionnement du marché du travail. Les communications par le téléphone classique permettent des relations relativement « neutres » à cet égard, car il est difficile de cerner avec précision et certitude la personnalité que l'on ne « voit » pas. Le vidéo-téléphone apporte donc à un employeur des renseignements beaucoup plus complets sur son interlocuteur, peut-être même suffisamment complets pour qu'il puisse désormais se passer de rencontres réelles en tête à tête avant une embauche définitive. Les implications nombreuses et complexes de ce problème, en apparence limité et sans importance, n'ont, semble-t-il, pas encore été étudiées.

